



COMISIÓN EUROPEA
DIRECCIÓN GENERAL CCI
CENTRO COMÚN DE INVESTIGACIÓN
Instituto de Estudios Tecnológicos Prospectivos

Prevención y control integrados de la contaminación

**Documento de referencia sobre las
mejores técnicas disponibles para el
sector del tratamiento de residuos**

Fecha: agosto de 2006

Este documento forma parte de una serie de documentos previstos que se indican a continuación (Titols dels brefs 08/06/07) todos se habían redactado):

Título completo	Código BREF
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la cría intensiva de aves de corral y cerdos	ILF
Documento de referencia sobre los principios generales de monitorización	MON
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en el curtido de pieles	TAN
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria de fabricación del vidrio	GLS
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria de la pasta y el papel	PP
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la producción de hierro y acero	I&S
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en las industrias de fabricación de cemento y cal	CL
Documento de referencia sobre la aplicación de las mejores técnicas disponibles a sistemas de refrigeración industrial	CV
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria cloroalcalina	CAK
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en el proceso de metales férreos	FMP
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles el proceso de metales no férreos	NFM
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria textil	TXT
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en el ámbito de las refinerías de petróleo y gas	REF
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria de productos químicos orgánicos de gran volumen de producción	LVOC
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en sistemas comunes de tratamiento/gestión de aguas y gases residuales en el sector químico	CWW
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en las industrias agroalimentarias (alimentos, bebidas y lácteos)	FM
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en herrerías y fundiciones	SF
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en el ámbito de las emisiones generadas por el almacenamiento	ESB
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles sobre economía y efectos cruzados	ECM
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en el ámbito de las grandes instalaciones de combustión	LCP
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para mataderos e industrias de subproductos animales	SA
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la gestión de la roca estéril y las escombreras en el sector minero	MTWR
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en el tratamiento superficial de metales	STM
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para las industrias de tratamiento de residuos	WT
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria de productos químicos inorgánicos de gran volumen (amoniaco, ácidos y fertilizantes)	LVIC-AAF
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para la incineración de residuos	WI
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la fabricación de polímeros	POL
Documento de referencia sobre técnicas de eficiencia energética	ENE
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la fabricación de productos de química fina	OFC
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la fabricación de productos químicos inorgánicos especiales	SIC
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en tratamientos superficiales con disolventes	STS
Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria de productos químicos inorgánicos de gran volumen de producción (sólidos y otros)	LVIC-S

Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria de fabricación de cerámica

CER

RESUMEN Y COMENTARIOS

El documento de referencia (BREF) sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) titulado «Sector del tratamiento de residuos» refleja un intercambio de información llevado a cabo de acuerdo con el apartado 2 del artículo 16 de la Directiva 96/61/CE del Consejo (Directiva IPPC). En este apartado se describen las principales conclusiones globales y se resumen las principales conclusiones sobre MTD y los niveles de emisión/consumo asociados. Deberá leerse junto con el prefacio, donde se explican los objetivos de este documento, cómo debe utilizarse y las condiciones legales.

Este resumen puede leerse y entenderse como un documento independiente, aunque hay que tener en cuenta que no presenta todas las complejidades del documento completo. Por lo tanto, no pretende sustituir al documento completo como herramienta en la toma de decisiones sobre MTD.

Ámbito del documento

Éste y otros documentos BREF de la serie pretenden abarcar las actividades que se describen en el apartado 5 del anexo I de la Directiva IPPC, «Gestión de residuos». Otro BREF trata la incineración de residuos y algunos tratamientos térmicos de residuos, como la pirólisis y la gasificación (punto 5.2 del anexo I de la Directiva). Aunque el punto 5.4 del anexo I se refiere a los vertederos, este documento no incluye MTD para vertederos.

Los códigos de valorización (R - Recovery) y eliminación (D - Disposal) de los anexos II A y II B de la Directiva 75/442/CEE en relación con la Directiva IPPC han cambiado de acuerdo con la Decisión 96/350/CE de la Comisión. Dado que esta última enmienda corresponde a la clasificación más reciente de códigos de operaciones de valorización y eliminación, en la siguiente tabla se indican los códigos de tipos de operaciones con residuos que se tratan en este documento, de acuerdo con la perspectiva del foro de intercambio de información (FII) y el grupo de trabajo técnico (GTT) y en la línea de la Directiva IPPC.

Actividad de tratamiento de residuos	Código R/D 96/350/CE
Utilización principal del residuo como combustible o como otro medio de generar energía	R1
Recuperación o regeneración de disolventes	R2
Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas (con exclusión de los metales y compuestos metálicos que se incluyen en otros tratamientos de valorización: R4)	R5
Regeneración de ácidos o de bases	R6
Valorización de componentes utilizados para reducir la contaminación	R7
Valorización de componentes procedentes de catalizadores	R8
Regeneración u otro nuevo empleo de aceites	R9
Intercambio de residuos para someterlos a cualquiera de las operaciones de valorización (enumeradas entre R1 y R11)	R12
Acumulación de residuos para someterlos a cualquiera de las operaciones de valorización (enumeradas entre R1 y R12) (con exclusión del almacenamiento temporal previo a la recogida en el lugar de producción)	R13
Tratamiento biológico no especificado en otro apartado del anexo II de la Decisión 96/350/CE y que dé como resultado compuestos o mezclas que se eliminen mediante alguno de los procedimientos de eliminación (enumerados entre D1 y D12)	D8
Tratamiento físico-químico no especificado en otro apartado del anexo II de la Decisión 96/350/CE y que dé como resultado compuestos o mezclas que se eliminen mediante uno de los procedimientos de eliminación (enumerados entre D1 y D12) (por ejemplo, evaporación, secado, calcinación, etc.)	D9
Combinación o premezcla previo a cualquiera de las operaciones de eliminación (enumeradas entre D1 y D12)	D13
Reenvasado previo a cualquiera de las operaciones de eliminación (enumeradas entre D1 y D13)	D14
Almacenamiento previo a cualquiera de las operaciones de eliminación (enumeradas entre D1 y D14) (con exclusión del almacenamiento temporal previo a la recogida en el lugar de producción)	D15

Actividades de tratamiento de residuos consideradas en este documento

Un «análisis del ciclo de vida» completo aplicado a un residuo determinado puede considerar todos los eslabones de la cadena de residuos así como el impacto del residuo/producto final en el medio ambiente. La Directiva IPPC no pretende abordar estos análisis, sino que se centra en las instalaciones. Por ejemplo, la minimización de la cantidad o toxicidad de los residuos producidos en instalaciones industriales es algo intrínseco a la Directiva IPPC y que queda cubierto por el BREF de cada sector industrial (véase la lista al dorso de la portada de este documento). Otro ejemplo muestra que la gestión de residuos también incluye decisiones estratégicas sobre qué tipo de residuo se trata en cada opción/proceso/tratamiento de residuos disponible o qué tratamiento se da a dicho residuo. Esta decisión depende de las opciones de tratamiento de residuos disponibles a escala local, regional, nacional o internacional, algo que también depende de dónde se produce el residuo.

Hay quien opina que este documento debería abarcar todas las actividades de tratamiento de residuos disponibles actualmente en el sector. Esta opinión se fundamenta en tres razones: en primer lugar, las características técnicas de esos tratamientos adicionales son muy parecidas, por no decir iguales, a las de algunos de los tratamientos considerados en este documento; en segundo lugar, estas cuestiones pueden beneficiar a la competitividad de algunos tratamientos de residuos no tratados en la Directiva IPPC porque esas instalaciones pueden tener permiso para operar de acuerdo con estándares ambientales menos exigentes que las MTD; y en tercer lugar, podría interpretarse que, como estos tratamientos no se tienen en cuenta, no es posible determinar MTD y no pueden desarrollarse en condiciones de MTD.

El ámbito de este documento no debe interpretarse como ningún intento de interpretar la Directiva IPPC ni ninguna legislación en materia de residuos.

Información general sobre el sector del tratamiento de residuos

El sector de los residuos está muy regulado en la UE. Por este motivo, existen muchas definiciones legales de términos habituales en el sector. Las instalaciones de tratamiento de residuos incluyen operaciones para la valorización o la eliminación de los residuos. Normalmente no se considera que las instalaciones de tratamiento de residuos produzcan un producto, como otros sectores industriales, sino que suele considerarse que ofrecen servicios a la sociedad para gestionar sus materias residuales. Sin embargo, se reconoce que algunos tratamientos de residuos pueden dar lugar a algunos productos. Como puede verse en la tabla siguiente, en la UE existen más de 14.000 instalaciones de tratamiento de residuos. En la tabla puede observarse claramente que la mayoría de ellas son instalaciones físico-químicas.

Tratamiento de residuos	Número de instalaciones conocidas
Tratamientos físico-químicos	9907
Traslado de residuos	2905
Tratamientos biológicos	615
Preparación y uso de aceites residuales como combustible	274
Preparación de combustible residual	266
Tratamiento de residuos inorgánicos (excepto metales)	126
Tratamiento de disolventes residuales	106
Rerrefinado de aceites residuales	35
Tratamiento con carbón activo	20
Valorización para reducir la contaminación	20
Tratamiento de residuos de catalizadores	20
Tratamiento de ácidos/bases residuales	13
TOTAL	14.307

Nota: es posible que las cifras de esta tabla sean diferentes de las reales por dos razones, básicamente. Por un lado, estas cifras subestiman el número de instalaciones existentes en Europa porque algunos países de la UE no han comunicado el número de instalaciones de su territorio. Por otro lado, estas cifras suelen incluir todas las instalaciones, por lo que el número de instalaciones en el marco de la Directiva IPPC podría ser menor.

Instalaciones de tratamiento de residuos inventariadas en la UE

Técnicas aplicadas, emisiones y consumos en el sector del tratamiento de residuos

Este documento ofrece una imagen actualizada de la situación técnica y ambiental del sector del tratamiento de residuos considerado. Contiene una breve descripción técnica de las actividades y de los procesos del sector, complementada por las emisiones y los consumos reales de las instalaciones. De forma más concreta, en este documento se describe lo siguiente:

- técnicas aplicadas de forma habitual, como la gestión genérica de las instalaciones, recepción, aceptación, trazabilidad, garantía de calidad, almacenamiento y manipulación, sistemas energéticos;
- tratamientos biológicos, como digestión aerobia y anaerobia o el biotratamiento de suelo fuera de las instalaciones;
- tratamientos físico-químicos aplicados a aguas residuales, residuos sólidos y lodos;
- recuperación de materiales de los residuos, como regeneración de ácidos y bases, catalizadores, carbón activo, disolventes y resinas, así como rerrefinado de aceites residuales;
- preparación de combustible sólido/líquido derivado de residuos peligrosos y no peligrosos;
- tratamientos de reducción de las emisiones a la atmósfera, aguas residuales y residuos generados en las instalaciones de tratamiento de residuos.

En este documento también se identifican las cuestiones ambientales clave en el sector del tratamiento de residuos, relativas a las emisiones a la atmósfera, vertidos al agua, contaminación del suelo y residuos. No obstante, dada la variedad de tratamientos y de tipos de residuos implicados, no todos los tipos de emisiones son relevantes para todos los tratamientos de residuos. Por ejemplo, las emisiones que genera el tratamiento físico-químico de las aguas residuales están relacionadas sobre todo con las aguas residuales, mientras que la regeneración de carbón activo está relacionada fundamentalmente con las emisiones a la atmósfera. En este documento se tienen en cuenta estas especificidades, que pueden orientar al lector a la hora de reconocer los principales problemas ambientales de cada tipo de instalación.

Técnicas que se tienen en cuenta en la determinación de las MTD

En la determinación de las MTD actualmente se incluyen y se consideran 940 técnicas. Es posible que otras técnicas no se hayan incluido simplemente porque no se ha proporcionado información al respecto. Las técnicas incluidas se han analizado siguiendo el mismo patrón. Ese análisis se explica para cada técnica con una breve descripción, los beneficios ambientales obtenidos, los efectos cruzados, los datos operativos, la aplicabilidad y aspectos económicos. En algunos casos, se ha examinado el motivo principal para su aplicación y se muestran ejemplos de instalaciones de tratamiento de residuos que utilizan dichas técnicas. El análisis de las técnicas finaliza con la bibliografía que respalda los datos del capítulo 4. Las técnicas se han estructurado en ocho secciones. La primera se refiere a las técnicas genéricas, y las tres últimas, a las técnicas de final de línea que se aplican en el sector. Las cuatro secciones centrales abordan diferentes tratamientos de residuos específicos.

Debido a la gran cantidad y variedad de técnicas consideradas en la determinación de las MTD, resulta difícil resumirlas brevemente. La tabla siguiente se ha elaborado para ofrecer una visión rápida de las técnicas consideradas en la determinación de las MTD en el contexto de este documento. La tabla muestra el número de diferentes tipos de técnicas para cada tipo de tratamiento de residuos considerado en este documento. Se han identificado cuatro categorías. La primera categoría hace referencia a técnicas para la mejora de la prestación desde el punto de vista ambiental del tratamiento de residuos en sí, o técnicas para la prevención de la contaminación o la gestión de las instalaciones de tratamiento de residuos. Las otras tres categorías hacen referencia a: a) técnicas para reducir las emisiones a la atmósfera, b) técnicas para reducir los vertidos al agua, y c) tratamiento de residuos sólidos generados durante el proceso de tratamiento de residuos, así como técnicas para el control y la prevención de la contaminación del suelo. En muchos casos resulta difícil incluir algunas técnicas en una categoría concreta. El número de técnicas que se indica en la tabla no se corresponde con el número de secciones dentro de un apartado, pues hay muchos casos en los que en un mismo apartado se incluye más de una técnica.

Tipo de tratamiento de residuos	Número de técnicas aplicadas a:				TOTAL
	tratamiento de residuos, prevención y gestión	emisiones a la atmósfera	aguas residuales	residuos sólidos	
Técnicas comunes	296	26	16	31	369
Tratamientos biológicos	41	58	3	4	106
Tratamientos físico-químicos	133	17	4	6	160
Valorización de materiales	44	44	19	7	114
Preparación de combustible residual	39	16	0	0	55
Tratamientos de reducción de contaminación atmosférica		57			57
Tratamientos de aguas residuales			52		52
Gestión de residuos				27	27
TOTAL	553	218	94	75	940

Técnicas que se tienen en cuenta en la determinación de las MTD

En esta tabla se puede observar que más de la mitad de las técnicas están relacionadas con la mejora de la prestación desde el punto de vista ambiental de los tratamientos de residuos, la prevención o técnicas de gestión. El resto de las técnicas se centran fundamentalmente en la reducción de las emisiones a la atmósfera (representan casi un cuarto), y las demás se distribuyen de forma más o menos uniforme entre el tratamiento de aguas residuales y el tratamiento de residuos sólidos. Desde otra perspectiva, puede afirmarse que más de un tercio de las técnicas se consideran comunes. En cuanto a los cuatro tipos distintos de tratamientos específicos identificados, el tratamiento físico-químico es el apartado que incluye más técnicas.

Mejores técnicas disponibles para el sector del tratamiento de residuos

Este documento contiene las mejores técnicas disponibles (MTD) determinadas para el sector del tratamiento de residuos. Guardan relación con las cuestiones ambientales más relevantes y suelen referirse a las emisiones en un funcionamiento normal. En algunos casos también se comentan conclusiones sobre emisiones en incidentes o accidentes importantes.

Las MTD identificadas se resumen en la tabla siguiente. Esta tabla no puede entenderse correctamente si no se lee todo el apartado sobre MTD, por lo que no puede utilizarse como herramienta para la toma de decisiones. La principal razón es que cada conclusión sobre MTD contiene numerosos detalles, sobre todo relativos a los casos en que se aplica. Aquí podemos resumir algunos datos del capítulo sobre MTD:

- las conclusiones sobre MTD para el sector del tratamiento de residuos se presentan en dos niveles. Un nivel corresponde a las conclusiones genéricas, es decir, que por lo general son aplicables a todo el sector. El otro nivel incluye conclusiones más específicas, por ejemplo las relativas a los diversos tipos de actividades y procesos específicos identificados en el ámbito de aplicación. Así, las MTD para cualquier tipo concreto de instalación de tratamiento de residuos son una combinación de los elementos «genéricos» que se aplican de forma general y los elementos «específicos de la actividad» que se aplican al caso particular. En algunos casos, otros documentos BREF pueden servir de orientación y formar parte de la lista de documentos que deben tenerse en cuenta al analizar una instalación concreta. Por ejemplo, las MTD para el rerrefinado de aceites residuales contienen los elementos de MTD numerados del 1 al 64 y del 95 al 104. Además, es posible que otros documentos BREF relacionados con el tema puedan aportar orientación adicional. Otro ejemplo: las MTD para combustibles líquidos derivados de residuos peligrosos contienen los elementos de MTD numerados del 1 al 64, del 117 al 121 y del 129 al 130.
- Algunas de las MTD se basan en técnicas o tecnologías concretas.

- Algunas MTD se han identificado en relación con residuos peligrosos. Estas técnicas se han resaltado siguiendo una estrategia similar a la utilizada en la lista europea de residuos de la Directiva marco sobre residuos.
- En la determinación de MTD en este sector, se han identificado algunos niveles de emisión asociados tras el uso de las MTD. Están relacionados con emisiones a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles y partículas, y parámetros del agua como la demanda química de oxígeno, la demanda biológica de oxígeno y la presencia de metales pesados. Además, se han identificado emisiones a la atmósfera de olores y amoníaco en el tratamiento mecánico-biológico y vertidos al agua de hidrocarburos y fenoles en el tratamiento de aceites residuales.

Categoría	Elementos de MTD identificados en
MTD genéricas	
Gestión ambiental	<ol style="list-style-type: none"> 1. sistemas de gestión ambiental 2. provisión de información completa sobre las actividades llevadas a cabo en las instalaciones 3. tener un buen procedimiento rutinario de mantenimiento 4. tener una estrecha relación con el cliente/productor de residuos 5. disponibilidad de personal cualificado
Mejora del conocimiento de la entrada de residuos	<ol style="list-style-type: none"> 6. tener unos conocimientos concretos de la entrada de residuos 7. implantar un procedimiento de aceptación previa 8. implantar un procedimiento de aceptación 9. implantar diferentes procedimientos de muestreo 10. tener unas instalaciones de recepción
Salida de residuos	<ol style="list-style-type: none"> 11. análisis de la salida de residuos
Sistemas de gestión	<ol style="list-style-type: none"> 12. trazabilidad en el tratamiento de residuos 13. reglas de mezcla/combinación 14. procedimientos de segregación y compatibilidad 15. eficacia del tratamiento de residuos 16. plan de gestión de accidentes 17. registro de incidentes 18. planes de gestión de ruidos y vibraciones 19. paralización
Utilidades y gestión de materias primas	<ol style="list-style-type: none"> 20. generación y consumo de energía 21. eficacia energética 22. evaluación comparativa interna 23. uso de residuos como materia prima
Almacenamiento y manipulación	<ol style="list-style-type: none"> 24. técnicas genéricas de almacenamiento 25. muros de contención 26. marcaje de canalizaciones 27. almacenamiento/acumulación de residuos 28. técnicas genéricas de manipulación 29. técnicas de acumulación/mezcla de residuos envasados 30. guía de segregación para el almacenamiento 31. técnicas de manipulación de residuos en contenedores
Otras técnicas comunes no mencionadas antes	<ol style="list-style-type: none"> 32. uso de ventilación de extracción durante las operaciones de triturado y cribado 33. triturado encapsulado de residuos especiales 34. procesos de lavado
Tratamientos de emisiones a la atmósfera	<ol style="list-style-type: none"> 35. uso de fosas, recipientes y depósitos destapados 36. incluir sistemas con extracción en instalaciones de reducción de la contaminación adecuadas 37. sistemas de extracción calibrados para algunos tratamientos y almacenamientos 38. funcionamiento y mantenimiento del equipo de reducción de la contaminación 39. sistemas de lavado para emisiones gaseosas inorgánicas importantes 40. detección de fugas y procedimientos de reparación 41. reducción de emisiones a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles y partículas

Categoría	Elementos de MTD identificados en
Gestión de aguas residuales	42. uso del agua y contaminación del agua 43. especificación de efluentes adecuada para el sistema de tratamiento de efluentes en planta o los criterios de vertido 44. impedir que el efluente evite los sistemas de la instalación de tratamiento 45. recogida de aguas residuales 46. segregación de aguas residuales 47. tener una base concreta completa en todas las zonas de tratamiento 48. recogida del agua de lluvia 49. reutilización del agua de lluvia y las aguas residuales tratadas 50. comprobación diaria del sistema de gestión de efluentes y mantenimiento de un registro 51. identificar los principales componentes peligrosos del efluente tratado 52. técnicas de tratamiento de aguas residuales adecuadas para cada tipo de aguas residuales 53. aumentar la fiabilidad del control y el rendimiento de la reducción de la contaminación para las aguas residuales 54. principales componentes de las aguas residuales tratadas 55. vertido de las aguas residuales 56. niveles de emisión sobre demanda química y biológica de oxígeno y metales pesados asociados al uso de MTD
Gestión de los residuos generados en el proceso	57. planificación de gestión de residuos 58. uso de envases reutilizables 59. reutilización de tambores 60. mantener un inventario de los residuos de la instalación 61. reutilización de los residuos
Contaminación del suelo	62. provisión y mantenimiento de la superficie de las áreas operativas 63. base impermeable y drenaje 64. minimización del equipamiento subterráneo y de la instalación
MTD para tipos específicos de tratamientos de residuos	
Tratamientos biológicos	65. almacenamiento y manipulación en sistemas biológicos 66. tipos de residuos y procesos de separación 67. técnicas para digestión anaerobia 68. reducción de las emisiones a la atmósfera de polvo, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, monóxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y compuestos orgánicos volátiles al utilizar biogás como combustible 69. técnicas para tratamientos mecánico-biológicos 70. reducción de las emisiones de olores, amoníaco, óxido nitroso y mercurio de tratamientos mecánico-biológicos 71. reducción de los vertidos al agua de nitrógeno total, amoníaco, nitrato y nitrito
Tratamientos físico-químicos de aguas residuales	72. las técnicas de los reactores físico-químicos 73. parámetros adicionales de las aguas residuales que es preciso identificar 74. proceso de neutralización 75. precipitación de los metales 76. fragmentación de las emulsiones 77. oxidación/reducción 78. aguas residuales que contienen cianuros 79. aguas residuales que contienen compuestos de cromo (VI) 80. aguas residuales que contienen nitritos 81. aguas residuales que contienen amoníaco 82. reducción de las emisiones a la atmósfera durante los procesos de filtración y deshidratación 83. floculación y evaporación 84. limpieza de procesos de cribado

Categoría	Elementos de MTD identificados en
Tratamiento físico-químico de residuos sólidos	85. insolubilización de metales anfóteros 86. lixiviabilidad de compuestos inorgánicos 87. restringir la aceptación de residuos para su tratamiento por solidificación/inmovilización 88. sistemas cerrados 89. sistemas de reducción de la contaminación en la carga y la descarga 90. residuos sólidos destinados a vertederos
Tratamiento físico-químico de suelo contaminado	91. control de las excavaciones 92. determinar la adecuación del proceso que se va a aplicar 93. recogida y control del equipo 94. eficacia obtenida durante los procesos
Rerefinado de aceites residuales	95. control de los materiales de entrada 96. comprobación de disolventes clorados y policlorobifenilos 97. condensación para la fase de gas de las unidades de destilación en corriente de vapor 98. reducción de la contaminación durante la carga y descarga de vehículos 99. diferentes reducciones de la contaminación cuando hay especies cloradas 100. oxidación térmica 101. sistemas de vacío 102. uso de los residuos de la destilación por vacío o evaporadores de películas finas 103. procesos de rerefinado de aceites residuales altamente eficientes 104. valores de emisión de aguas residuales para hidrocarburos y fenoles
Regeneración de disolventes residuales	105. control de los materiales de entrada 106. evaporación del residuo
Regeneración de residuos de catalizadores	107. uso de filtros de mangas 108. uso de sistemas de reducción de las emisiones de óxido de azufre
Regeneración de residuos de carbón activo	109. procedimientos de control de calidad 110. origen de los residuos de carbón activo 111. uso de un horno para el tratamiento de carbones industriales 112. uso de una cámara de poscombustión para la regeneración de carbones industriales 113. uso de una cámara de poscombustión para la regeneración de agua potable y carbones activos de calidad apropiada para alimentos 114. uso de un tren de tratamiento de los gases de combustión 115. sistemas de depuración 116. plantas de tratamiento de aguas residuales
Preparación de residuos que serán utilizados como combustible	117. transferir los conocimientos sobre la composición del combustible residual preparado 118. sistemas de garantía de calidad 119. fabricar diferentes tipos de combustibles residuales 120. tratamientos de aguas residuales 121. cuestiones de seguridad
Preparación de combustibles sólidos derivados de residuos no peligrosos	122. inspección visual de los residuos de entrada 123. uso de separadores magnéticos de metales ferrosos y no ferrosos 124. uso de técnicas de infrarrojo cercano 125. preparación del combustible residual en un tamaño correcto
Preparación de combustibles sólidos derivados de residuos peligrosos	126. operaciones de secado o calentamiento 127. operaciones de mezcla y combinación 128. reducción de partículas
Preparación de combustibles líquidos derivados de residuos peligrosos	129. uso de unidades de intercambio de calor externas al recipiente 130. homogeneidad del combustible líquido

MTD para el sector del tratamiento de residuos

Técnicas emergentes

Este documento también incluye las técnicas identificadas por el GTT que aún no se han aplicado comercialmente y que todavía están en fase de investigación o desarrollo. No obstante, dadas las implicaciones que pueden tener en el sector del tratamiento de residuos, se han incluido para llamar la atención sobre posibles futuras revisiones de este documento.

Observaciones finales

Desde el principio del proceso de intercambio de información, ha quedado claro que existen diferentes visiones sobre qué instalaciones de tratamiento de residuos deben incluirse en este documento y cuáles no. Además, se ha constatado que algunas instalaciones sólo se verán afectadas parcialmente por la Directiva IPPC. Por estos motivos, los expertos tuvieron que dedicar un tiempo considerable a intentar resolver y aclarar estas cuestiones, por lo que el tiempo que pudieron dedicar a las MTD para el sector se vio reducido. Probablemente eso haya limitado la cantidad de conclusiones alcanzadas en el intercambio de información. Además, en las dos reuniones plenarias (la inicial y la final) se discutieron diferentes opiniones sobre la estructura del documento. Se alcanzó un amplio consenso en cuanto al capítulo de las MTD, pero existen opiniones divergentes sobre la necesidad de ampliar el ámbito del documento para incluir otros tratamientos de residuos que no quedan cubiertos en el documento actual.

Como preparación de futuras revisiones de este documento, todos los miembros del GTT y las partes interesadas deberán seguir recopilando datos sobre los niveles actuales de consumo y de emisiones, así como sobre el rendimiento de las técnicas que deberán considerarse a la hora de determinar las MTD.

La CE está impulsando, a través de sus programas de IDT, una serie de proyectos relacionados con tecnologías limpias, tecnologías emergentes de reciclaje y tratamiento de efluentes, y estrategias de gestión. Estos proyectos podrían ser una útil contribución para futuras revisiones de este documento. Por lo tanto, se invita a los lectores a informar a la EIPPCB sobre resultados de investigaciones que puedan ser relevantes para el ámbito de este documento (véase también el prefacio).

PREFACIO

1. Estatus de este documento

A no ser que se diga lo contrario, las referencias a «la Directiva» que se realicen en este documento se refieren a la Directiva 96/61/CE del Consejo relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación. La Directiva se aplica sin perjuicio de las disposiciones comunitarias sobre salud y seguridad en el trabajo, y lo mismo sucede con este documento.

Este documento forma parte de una serie donde se presentan los resultados de un intercambio de información entre Estados miembros de la UE y los sectores implicados sobre las mejores técnicas disponibles (MTD), las prescripciones de control relacionadas, y su evolución. *[Lo publica la Comisión Europea de conformidad con el apartado 2 del artículo 16 de la Directiva, por lo que deberá tenerse en cuenta de acuerdo con el anexo IV de la Directiva al determinar las «mejores técnicas disponibles»].

* Nota: los corchetes se eliminarán cuando se complete el procedimiento de publicación por parte de la Comisión.

2. Obligaciones legales relevantes de la Directiva IPPC y la definición de MTD

Para ayudar al lector a comprender el contexto legal en el que se ha redactado este documento, en este prefacio se describen algunas de las disposiciones más relevantes de la Directiva IPPC, incluida la definición del término «mejores técnicas disponibles». Inevitablemente se trata de una descripción incompleta que únicamente se proporciona con fines informativos. No tiene ningún valor legal y no afecta ni altera en modo alguno las disposiciones actuales de la Directiva.

El objetivo de la Directiva es conseguir una prevención y un control integrados de la contaminación generada por las actividades que se listan en su anexo I, que conduzca a un elevado nivel de protección del medio ambiente en su conjunto. El fundamento jurídico de la Directiva se refiere a la protección del medio ambiente. Su aplicación también debería tener en cuenta otros objetivos comunitarios, como la competitividad de la industria comunitaria, para contribuir así a un desarrollo sostenible.

De forma más específica, ofrece un sistema de permisos para determinadas categorías de instalaciones industriales que requiere que tanto los operadores como los reguladores adopten una visión global integrada del potencial de consumo y contaminación de la instalación. El objetivo general de este enfoque integrado debe ser mejorar la gestión y el control de los procesos industriales a fin de garantizar un elevado nivel de protección del medio ambiente en su conjunto. En este enfoque es fundamental el principio general que se menciona en el artículo 3, según el cual los operadores deben tomar todas las medidas adecuadas de prevención de la contaminación, en particular mediante la aplicación de las mejores técnicas disponibles, lo cual les permitiría mejorar su prestación desde el punto de vista ambiental.

El término «mejores técnicas disponibles» se define en el apartado 11 del artículo 2 de la Directiva como «la fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir, en principio, la base de los valores límite de emisión destinados a evitar o, cuando ello no sea practicable, reducir en general las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente». En el apartado 11 del artículo 2 se aclara esta definición como sigue:

«técnicas»: la tecnología utilizada junto con la forma en que la instalación esté diseñada, construida, mantenida, explotada y paralizada;

«disponibles»: las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del sector industrial correspondiente, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen

en el Estado miembro correspondiente como si no, siempre que el titular pueda tener acceso a ellas en condiciones razonables;

«mejores»: las técnicas más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto.

Además, el anexo IV de la Directiva contiene una lista de «aspectos que deben tenerse en cuenta con carácter general o en un supuesto particular cuando se determinen las mejores técnicas disponibles (...), teniendo en cuenta los costes y ventajas que pueden derivarse de una acción y los principios de precaución y prevención». Estos aspectos incluyen la información publicada por la Comisión en virtud del apartado 2 del artículo 16.

Las autoridades competentes responsables de la concesión de permisos deberán tener en cuenta los principios generales descritos en el artículo 3 a la hora de determinar las condiciones del permiso. Estas condiciones deben incluir valores límite de emisión, complementados o sustituidos por parámetros o medidas técnicas equivalentes en los casos que convenga. De acuerdo con el apartado 4 del artículo 9 de la Directiva, estos valores límite de emisión, los parámetros y las medidas técnicas equivalentes deberán, sin perjuicio del cumplimiento de las normas de calidad del medio ambiente, basarse en las mejores técnicas disponibles, sin prescribir la utilización de una técnica o tecnología específica, y tomando en consideración las características técnicas de la instalación de que se trate, su implantación geográfica y las condiciones locales del medio ambiente. En todos los casos, las condiciones del permiso establecerán disposiciones relativas a la minimización de la contaminación a larga distancia o transfronteriza y garantizarán un nivel elevado de protección del medio ambiente en su conjunto.

En virtud del artículo 11 de la Directiva, los Estados miembros tienen la obligación de velar por que las autoridades competentes estén al corriente o sean informadas acerca de la evolución de las mejores técnicas disponibles.

3. Objetivo de este documento

El apartado 2 del artículo 16 de la Directiva insta a la Comisión a organizar «un intercambio de información entre los Estados miembros y las industrias correspondientes acerca de las mejores técnicas disponibles, las prescripciones de control relacionadas, y su evolución», así como a publicar los resultados de dicho intercambio.

La finalidad del intercambio de información se explica en el considerando 25 de la Directiva, donde se afirma que «los avances y el intercambio de información en la Comunidad sobre las mejores técnicas disponibles contribuirán a reducir los desequilibrios tecnológicos a nivel de la Comunidad, ayudarán a la divulgación mundial de los valores límite establecidos y de las técnicas empleadas en la Comunidad y, asimismo, ayudarán a los Estados miembros para la aplicación eficaz de la presente Directiva».

La Comisión (DG Medio Ambiente) creó un foro de intercambio de información (FII) para facilitar el trabajo recogido por el apartado 2 del artículo 16, así como una serie de grupos de trabajo técnico bajo el paraguas del FII. Tanto el FII como los grupos de trabajo técnico incluyen representantes de los Estados miembros y de las industrias, tal como está previsto en el apartado 2 del artículo 16.

El objetivo de esta serie de documentos es reflejar con precisión el intercambio de información que ha tenido lugar según lo estipulado por el apartado 2 del artículo 16 y ofrecer a las autoridades que conceden los permisos información de referencia para que la tengan en cuenta al determinar las condiciones de los permisos. Al proporcionar información relevante acerca de las mejores técnicas disponibles, estos documentos deberían servir como herramientas útiles para mejorar la prestación desde el punto de vista ambiental.

4. Fuentes de información

Este documento es un resumen de información recopilada de diferentes fuentes, entre las que destacan los expertos de los grupos creados para asistir a la Comisión en su trabajo, y verificadas por los servicios de la Comisión. Desde aquí queremos agradecer todas las contribuciones.

5. Cómo entender y utilizar este documento

La intención es que la información que contiene este documento se utilice como entrada para la determinación de MTD en casos específicos. Al determinar MTD y definir condiciones de permisos basadas en MTD, siempre hay que tener en cuenta el objetivo general de alcanzar un elevado nivel de protección del medio ambiente en su conjunto.

A continuación se describe el tipo de información que contiene cada uno de los capítulos de este documento.

Los capítulos 1 y 2 ofrecen información general sobre el sector industrial implicado y sobre los procesos aplicados y las técnicas utilizadas en el sector. El capítulo 3 incluye datos e información sobre los niveles actuales de consumo y de emisiones, que reflejan la situación en las instalaciones existentes en el momento de redacción del documento.

El capítulo 4 describe de forma más detallada la técnica de reducción de las emisiones y otras técnicas consideradas especialmente relevantes a la hora de determinar las MTD y las condiciones de los permisos basadas en MTD. Esta información incluye los niveles de consumo y emisiones que se considera que se pueden alcanzar con la técnica, una orientación sobre los costes y efectos cruzados asociados, así como la medida en que la técnica es aplicable a la variedad de instalaciones que requieren permisos IPPC, por ejemplo, instalaciones nuevas o existentes, grandes o pequeñas. No se han incluido las técnicas que en general se consideran obsoletas.

El capítulo 5 presenta las técnicas y los niveles de consumo y de emisiones que se consideran compatibles con las MTD en un sentido general. Su objetivo es ofrecer indicaciones generales sobre los niveles de consumo y de emisiones que se pueden considerar un punto de referencia adecuado para ayudar a determinar las condiciones de los permisos basadas en MTD o para establecer prescripciones obligatorias generales de acuerdo con el apartado 8 del artículo 9. No obstante, cabe destacar que este documento no propone valores límite de emisión. Para determinar condiciones de permiso adecuadas habrá que tener en cuenta factores locales específicos, como las características técnicas de la instalación en cuestión, su ubicación geográfica y las condiciones ambientales locales. En el caso de instalaciones existentes, también hay que tener en cuenta si su modernización es viable desde el punto de vista técnico y económico. Incluso el objetivo de garantizar un elevado nivel de protección del medio ambiente en su conjunto a menudo implicará considerar criterios de compensación entre diferentes tipos de impactos ambientales, y estas valoraciones a menudo estarán influidas por consideraciones locales.

Aunque se ha intentado abordar algunas de estas cuestiones, no es posible tratarlas a fondo en este documento. Por lo tanto, las técnicas y los niveles que se presentan en el capítulo 5 no serán necesariamente adecuados para todas las instalaciones. Por otro lado, la obligación de garantizar un elevado nivel de protección ambiental, incluida la minimización de la contaminación a larga distancia o transfronteriza, supone que las condiciones del permiso no se pueden definir sobre la base de consideraciones meramente locales. Así pues, es muy importante que las autoridades encargadas de la concesión de permisos tengan en cuenta toda la información contenida en este documento.

Dado que las mejores técnicas disponibles cambian con el tiempo, este documento se revisará y actualizará convenientemente. Pueden remitirse comentarios y sugerencias a la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación, del Instituto de Estudios Tecnológicos Prospectivos, a la siguiente dirección:

Prefacio

Edificio Expo, c/ Inca Garcilaso, s/n, E-41092 Sevilla, España
Teléfono: +34 95 4488 284
Fax: +34 95 4488 426
Correo electrónico: JRC-IPTS-EIPPCB@cec.eu.int
Internet: <http://eippcb.jrc.es>

Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para el sector del tratamiento de residuos

RESUMEN Y COMENTARIOS	I
PREFACIO	IX
ÁMBITO	XXXI
1 INFORMACIÓN GENERAL.....	1
1.1 Finalidad del tratamiento de residuos.....	1
1.2 Instalaciones para el tratamiento de residuos	1
1.2.1 Instalaciones para la transferencia de residuos	3
1.2.2 Instalaciones que contienen un tratamiento biológico de los residuos.....	4
1.2.3 Instalaciones para el tratamiento físico-químico de las aguas residuales	6
1.2.4 Instalaciones para el tratamiento de cenizas de combustión y residuos de la limpieza de gases de combustión	7
1.2.5 Instalaciones para el tratamiento de residuos contaminados con PCB	7
1.2.6 Instalaciones para el tratamiento de aceite residual	8
1.2.7 Instalaciones para el tratamiento de disolventes residuales	12
1.2.8 Instalaciones para el tratamiento de catalizadores residuales, residuos procedentes de la reducción de la contaminación y otros residuos inorgánicos	13
1.2.9 Instalaciones para el tratamiento del carbón activo y las resinas.....	14
1.2.10 Instalaciones para el tratamiento de ácidos y bases residuales	16
1.2.11 Instalaciones para el tratamiento de madera contaminada	16
1.2.12 Instalaciones para el tratamiento de materiales cerámicos refractarios contaminados	17
1.2.13 Instalaciones para la preparación de residuos que serán utilizados como combustible	17
1.3 Aspectos económicos e institucionales del sector del tratamiento de residuos	22
1.4 Problemas ambientales generales relacionados con las instalaciones que tratan residuos	24
2 PROCESOS Y TÉCNICAS APLICADOS.....	27
2.1 Técnicas comunes aplicadas en el sector.....	31
2.1.1 Recepción, aceptación, trazabilidad y garantía de calidad	31
2.1.2 Técnicas de gestión	36
2.1.3 Sistemas de energía.....	36
2.1.4 Almacenamiento y manipulación	36
2.1.5 Combinación y mezcla	41
2.1.6 Desmantelamiento	44
2.1.7 Tratamiento de pequeñas cantidades	44
2.1.8 Reducción de tamaño.....	45
2.1.9 Otras técnicas comunes.....	46
2.1.10 Ejemplos de instalaciones de tratamiento de residuos en las que sólo se aplican las técnicas comunes	47
2.2 Tratamiento biológico de los residuos.....	49
2.2.1 Digestión anaerobia	49
2.2.2 Tratamiento mecánico-biológico	52
2.2.3 Tratamientos biológicos aplicados a tierras contaminadas	54
2.3 Tratamientos físico-químicos de los residuos	56
2.3.1 Tratamientos físico-químicos de las aguas residuales	56
2.3.2 Operaciones unitarias usadas en los tratamientos físico-químicos de aguas residuales.....	60
2.3.3 Tratamientos físico-químicos de residuos sólidos y lodos residuales.....	64
2.3.3.1 Extracción y separación	65
2.3.3.2 Tratamientos térmicos.....	65
2.3.3.3 Separación mecánica.....	66
2.3.3.4 Acondicionamiento	67
2.3.3.5 Inmovilización	67
2.3.3.6 Deshidratación	70
2.3.3.7 Desección con altas temperaturas.....	71
2.3.3.8 Instalaciones de desecación con destilación térmica.....	72
2.3.3.9 Desorción térmica	73
2.3.3.10 Extracción con vapor	74
2.3.3.11 Extracción con disolventes.....	75
2.3.3.12 Excavación y extracción de tierras contaminadas	75

2.3.3.13	Lavado de tierras	76
2.3.3.14	Tramamiento del amianto.....	79
2.3.3.15	Tratamiento de las cenizas de fondo.....	79
2.3.4	Operaciones unitarias utilizadas en el procesamiento físico-químico de residuos sólidos y lodos.....	80
2.3.5	Tratamientos físico-químicos de otros residuos	82
2.4	Tratamientos aplicados principalmente para recuperar los materiales de los residuos	85
2.4.1	Rerrefinado de aceites residuales	85
2.4.1.1	Pretratamiento del aceite residual.....	88
2.4.1.2	Limpieza de aceites residuales.....	89
2.4.1.3	Fraccionamiento del aceite residual.....	89
2.4.1.4	Acabado de aceites residuales	89
2.4.1.5	Tecnologías usadas para el rerrefinado de aceites residuales	90
2.4.2	Regeneración de disolventes residuales	96
2.4.3	Regeneración de catalizadores residuales y valorización de componentes procedentes de las técnicas de reducción	99
2.4.4	Regeneración de carbón activo.....	100
2.4.5	Regeneración de resinas.....	101
2.4.6	Regeneración de ácidos y bases residuales	102
2.4.6.1	Regeneración de ácido sulfúrico usado	102
2.4.6.2	Regeneración de ácido clorhídrico usado	103
2.4.7	Tratamiento de residuos fotográficos sólidos.....	103
2.4.8	Tratamiento de residuos fotográficos líquidos	104
2.5	Tratamientos dirigidos principalmente a la producción de material para usar como combustible o para mejorar su valorización energética	105
2.5.1	Preparación de combustible residual sólido principalmente a partir de residuos sólidos	106
2.5.1.1	Preparación de combustible residual sólido mediante tratamiento mecánico (y biológico) a partir de residuos no peligrosos.....	106
2.5.1.2	Preparación de combustible residual sólido principalmente a partir de residuos peligrosos líquidos y semilíquidos.....	111
2.5.1.3	Preparación de combustible residual sólido por carbonización de madera contaminada.....	112
2.5.2	Preparación de combustibles residuales líquidos	113
2.5.2.1	Preparación de los combustibles residuales líquidos mediante la combinación principalmente de residuos peligrosos.....	113
2.5.2.2	Preparación de combustibles residuales líquidos por fluidificación de residuos peligrosos.....	115
2.5.2.3	Preparación de emulsiones a partir de residuos peligrosos líquidos y semilíquidos.....	118
2.5.2.4	Tratamientos de aceite residual en los que los residuos de salida se usan básicamente como combustible	120
2.5.2.4.1	Combustión directa de aceites residuales	121
2.5.2.4.2	Reprocesamiento suave de aceites residuales	121
2.5.2.4.3	Reprocesamiento a fondo	124
2.5.2.4.4	Desintegración térmica	126
2.5.2.4.5	Hidrotratamiento.....	128
2.5.2.5	Producción de biodiésel a partir de aceites residuales vegetales	128
2.5.3	Preparación de combustible gaseoso a partir de residuos.....	128
2.6	Técnicas para la reducción de emisiones	129
3	NIVELES DE EMISIÓN Y CONSUMO ACTUALES.....	131
3.1	Emisiones y consumos de las actividades/procesos habituales de tratamiento de residuos	133
3.1.1	Residuos entrantes en los tratamientos habituales.....	133
3.1.2	Consumos de los tratamientos habituales.....	134
3.1.3	Emisiones de los tratamientos habituales	135
3.1.4	Residuos salientes de tratamientos habituales de residuos	148
3.2	Emisiones y consumos de los tratamientos biológicos	149
3.2.1	Residuos entrantes en los tratamientos biológicos	149
3.2.2	Consumo de los tratamientos biológicos.....	151
3.2.3	Emisiones de los tratamientos biológicos.....	153
3.2.4	Residuos salientes de los tratamientos biológicos.....	165
3.3	Emisiones y consumos de los tratamientos físico-químicos	169
3.3.1	Residuos entrantes en los tratamientos físico-químicos	170

3.3.2	Consumos de los tratamientos físico-químicos.....	175
3.3.3	Emisiones de los tratamientos físico-químicos.....	181
3.3.3.1	Emisiones de los tratamientos físico-químicos de las aguas residuales.....	181
3.3.3.2	Emisiones de los tratamientos físico-químicos de los lodos y sólidos residuales.....	188
3.3.3.3	Emisiones del tratamiento de residuos específicos.....	194
3.3.4	Residuos salientes de los tratamientos físico-químicos.....	195
3.4	Emisiones y consumos de los tratamientos de residuos aplicados principalmente para valorizar los materiales de los residuos.....	201
3.4.1	Residuos entrantes tratados para obtener un material reciclado.....	201
3.4.2	Consumos de los tratamientos de residuos para obtener un material reciclado.....	209
3.4.3	Emisiones de los tratamientos de residuos para obtener un material reciclado.....	214
3.4.3.1	Emisiones del rerrefinado de aceites residuales.....	214
3.4.3.2	Emisiones de la regeneración de disolventes usados.....	230
3.4.3.3	Emisiones de la regeneración de catalizadores usados.....	233
3.4.3.4	Emisiones del lavado y regeneración del carbón.....	234
3.4.3.5	Emisiones de la regeneración de resinas de intercambio iónico.....	237
3.4.3.6	Emisiones de los tratamientos de ácidos y bases residuales.....	237
3.4.3.7	Emisiones del tratamiento de residuos fotográficos.....	237
3.4.4	Residuos salientes de los tratamientos de regeneración/reciclaje.....	238
3.5	Emisiones y consumos de los tratamientos de residuos para producir un material que se utilice como combustible.....	242
3.5.1	Residuos de entrada para la preparación de combustibles.....	242
3.5.2	Consumos en la preparación de combustible a partir de residuos.....	249
3.5.3	Emisiones por la preparación de combustible a partir de residuos.....	252
3.5.4	Combustibles a partir de residuos (residuo de salida).....	263
3.5.4.1	Combustible preparado a partir de residuos sólidos municipales.....	264
3.5.4.2	Especificaciones del combustible residual que se utiliza en los hornos de cemento.....	268
3.5.4.3	Aceite residual utilizado como combustible.....	271
3.5.4.4	Sistemas de garantía de la calidad.....	273
3.6	Emisiones y consumos de tratamientos de final de línea (reducción de la contaminación).....	277
3.7	Control.....	¡Error! Marcador no definido.
4	TÉCNICAS QUE SE HAN DE CONSIDERAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS MTD.....	287
4.1	Técnicas comunes que se han de tener en cuenta para la determinación de las MTD.....	289
4.1.1	Técnicas para mejorar los conocimientos sobre los residuos de entrada.....	289
4.1.1.1	Caracterización de la composición de los residuos.....	289
4.1.1.2	Procedimiento de preceptación para evaluar si los residuos son adecuados para su almacenamiento o tratamiento en las instalaciones.....	293
4.1.1.3	Procedimientos de aceptación cuando los residuos llegan a las instalaciones de TR.....	296
4.1.1.4	Muestreo.....	299
4.1.1.5	Instalaciones de recepción.....	302
4.1.2	Sistemas de gestión.....	305
4.1.2.1	Técnicas para determinar el tipo de tratamiento aplicado a cada residuo.....	305
4.1.2.2	Suministro de residuos garantizado.....	306
4.1.2.3	Técnicas para aumentar las posibilidades de trazabilidad de los residuos.....	307
4.1.2.4	Mejora de la eficacia de los tratamientos de residuos.....	309
4.1.2.5	Técnicas de gestión.....	310
4.1.2.6	Identificación de economías de escala y sinergias.....	311
4.1.2.7	Provisión de datos completos sobre las actividades que se han de realizar.....	312
4.1.2.8	Herramientas de gestión ambiental.....	313
4.1.2.9	Promoción de una buena colaboración entre el productor de los residuos y su poseedor.....	320
4.1.2.10	Utilización de personal cualificado en las instalaciones.....	321
4.1.3	Gestión de las instalaciones y las materias primas.....	322
4.1.3.1	Provisión de un desglose del consumo y generación de energía por fuentes.....	322
4.1.3.2	Empleo de combustibles más limpios.....	323
4.1.3.3	Utilización de los residuos como combustibles.....	323
4.1.3.4	Medidas para mejorar la eficacia energética.....	324
4.1.3.5	Selección de materias primas.....	327
4.1.3.6	Técnicas para reducir el uso de agua y evitar su contaminación.....	328
4.1.4	Almacenamiento y manipulación.....	331
4.1.4.1	Técnicas genéricas aplicadas al almacenamiento de residuos.....	331

4.1.4.2	Técnicas para el almacenamiento de bidones y otros residuos en contenedores	334
4.1.4.3	Técnicas destinadas a mejorar el mantenimiento del almacenamiento	335
4.1.4.4	Muros de contención para el almacenamiento de líquidos	336
4.1.4.5	Restricción del uso de depósitos, recipientes o cubetas no cubiertos	337
4.1.4.6	Técnicas genéricas aplicadas a la manipulación de residuos	337
4.1.4.7	Manipulación de residuos sólidos	339
4.1.4.8	Actividades de manipulación relativas a transferencias a bidones y contenedores o procedentes de ellos	340
4.1.4.9	Descarga automática de bidones	341
4.1.4.10	Técnicas destinadas a mejorar el control de existencias en almacenamiento	342
4.1.4.11	Zona de almacenamiento con estantes elevados para residuos peligrosos controlada por ordenador	343
4.1.4.12	Etiquetado de depósitos y tuberías de proceso	344
4.1.4.13	Realización de pruebas de compatibilidad previas a la transferencia	345
4.1.4.14	Separación del almacenamiento	348
4.1.5	Pruebas de separación y compatibilidad	350
4.1.6	Técnicas para la mejora ambiental de otras técnicas habituales	354
4.1.6.1	Técnicas para reducir emisiones procedentes del triturado de bidones y actividades de desmenuzado	354
4.1.6.2	Técnicas para reducir emisiones de procesos de lavado	356
4.1.7	Técnicas para evitar accidentes y sus consecuencias	356
4.1.8	Técnicas para reducir los ruidos y vibraciones	360
4.1.9	Técnicas para el cierre definitivo	361
4.2	Técnicas a considerar en los tratamientos biológicos	362
4.2.1	Selección del tratamiento biológico adecuado	362
4.2.2	Técnicas específicas de almacenamiento y manipulación en los tratamientos biológicos	364
4.2.3	Selección de las materias primas para sistemas biológicos	366
4.2.4	Técnicas genéricas para la digestión anaerobia	367
4.2.5	Aumento del tiempo de retención en los procesos de digestión anaerobia	369
4.2.6	Técnicas para la reducción de emisiones cuando se usa biogás como combustible	369
4.2.7	Aumento de la eficacia energética de generadores eléctricos y sistemas de digestión anaerobia	371
4.2.8	Técnicas para mejorar los tratamientos mecánico-biológicos	372
4.2.9	Digestión aerobia de lechadas	375
4.2.10	Control de la aireación en la degradación biológica	375
4.2.11	Gestión de los gases de escape en el TMB	377
4.2.12	Técnicas de disminución para tratamientos biológicos	378
4.3	Técnicas para tratamientos físico-químicos	379
4.3.1	Técnicas usadas en instalaciones de tratamiento físico-químico de aguas residuales	379
4.3.1.1	Planificación de la operación de una instalación de tratamiento físico-químico	379
4.3.1.2	Técnicas para los reactores de tratamiento físico-químico	380
4.3.1.3	Neutralización	381
4.3.1.4	Precipitación de metales	382
4.3.1.5	División de las emulsiones	385
4.3.1.6	Oxidación/reducción	386
4.3.1.7	Técnicas para el tratamiento de residuos que contienen cianuros	386
4.3.1.8	Técnicas para el tratamiento de residuos que contienen compuestos de cromo (VI)	387
4.3.1.9	Técnicas que se aplican cuando las aguas residuales están contaminadas con nitritos	388
4.3.1.10	Tratamientos de soluciones fenólicas por oxidación	388
4.3.1.11	Técnicas para residuos que contienen amoníaco	388
4.3.1.12	Filtración	389
4.3.1.13	Flotación	390
4.3.1.14	Procesos de intercambio de iones	391
4.3.1.15	Filtración con membrana	391
4.3.1.16	Sedimentación	393
4.3.1.17	Tamizado	394
4.3.1.18	Extracción con disolventes	395
4.3.1.19	Técnicas de tratamiento de aguas residuales que contienen metales preciosos	395
4.3.1.20	Técnicas para el tratamiento de residuos marinos acuosos	396
4.3.1.21	Técnicas de reducción de la contaminación aplicadas en las instalaciones de tratamiento físico-químico	399

4.3.2	Técnicas para el tratamiento físico-químico de sólidos y lodos.....	400
4.3.2.1	Pretratamiento anterior a la inmovilización	400
4.3.2.2	Actividades de laboratorio	401
4.3.2.3	Inmovilización	403
4.3.2.4	Solidificación con cemento.....	406
4.3.2.5	Uso de otros reactivos en el proceso de inmovilización.....	408
4.3.2.6	Estabilización con fosfatos.....	410
4.3.2.7	Tratamientos térmicos de los residuos sólidos	411
4.3.2.8	Recuperación de sales por disolución/evaporación.....	413
4.3.2.9	Extracción con ácido	414
4.3.2.10	Excavación y eliminación de la tierra contaminada	416
4.3.2.11	Desorción térmica de la tierra	416
4.3.2.12	Extracción de vapores	419
4.3.2.13	Lavado de tierra	420
4.3.2.14	Extracción con disolventes.....	421
4.3.2.15	Evaporación	421
4.3.2.16	Purificación y reciclaje de los residuos del TGC	422
4.3.3	Tratamientos físico-químicos de residuos específicos.....	424
4.3.3.1	Tratamiento de aceites contaminados con PCB	424
4.3.3.2	Conversión termoquímica del amianto residual	424
4.3.3.3	Tratamiento de residuos que contienen mercurio.....	426
4.4	Técnicas que deben considerarse para tratamientos aplicados principalmente a valorizar materiales de los residuos.....	429
4.4.1	Aceite residual	429
4.4.1.1	Técnicas genéricas para aumentar el rendimiento del rerrefinado	429
4.4.1.2	Selección de aceites residuales para rerrefinado	430
4.4.1.3	Proceso de destilación con arcilla	431
4.4.1.4	Destilación y tratamiento químico o extracción con disolvente.....	431
4.4.1.5	Proceso de extracción con disolvente y destilación	432
4.4.1.6	Evaporación de películas finas y diferentes procesos de acabado.....	432
4.4.1.7	Proceso de desasfaltado térmico	433
4.4.1.8	Reciclaje en una refinería de aceite lubricante.....	434
4.4.1.9	Hidrotratamiento	434
4.4.1.10	Proceso de hidrogenación por contacto directo.....	435
4.4.1.11	Extracción con disolvente	436
4.4.1.12	Tratamiento con sosa cáustica y tierra de blanqueo	437
4.4.1.13	Tratamiento en una refinería	437
4.4.1.14	Gestión del agua en instalaciones de rerrefinado de aceites residuales.....	439
4.4.1.15	Gestión de residuos en instalaciones de tratamiento de aceites residuales.....	442
4.4.2	Disolventes residuales	442
4.4.2.1	Selección de disolventes residuales para reciclaje	442
4.4.2.2	Mejora del tratamiento de regeneración de disolventes residuales	442
4.4.2.3	Tratamiento de aguas residuales en una instalación para disolventes residuales	444
4.4.2.4	Evaporación de los residuos de destilación.....	445
4.4.2.5	Automatización total de la incineración de residuos.....	446
4.4.3	Catalizadores residuales.....	446
4.4.3.1	Técnicas genéricas utilizadas en el tratamiento de catalizadores residuales	446
4.4.3.2	Mejorar el control del proceso	447
4.4.3.3	Técnicas de reducción empleadas en el sector de la regeneración de catalizadores residuales.....	448
4.4.4	Carbón activo.....	448
4.4.4.1	Elección del horno utilizado para regenerar el carbón activo residual.....	448
4.4.4.2	Tratamiento de los gases de combustión.....	449
4.4.4.3	Plantas de tratamiento de aguas residuales	451
4.4.4.4	Técnicas para el control de la contaminación aplicables en la regeneración de carbón activo.....	452
4.4.5	Regeneración de resinas	453
4.4.5.1	Técnicas para la regeneración de resinas	453
4.4.5.2	Técnicas para el control de la contaminación aplicables en la regeneración de carbón activo y de resinas	453
4.5	Técnicas que cabe considerar para la preparación de residuos que serán utilizados como combustible	454
4.5.1	Ampliar los conocimientos sobre el combustible residual preparado.....	454

4.5.2	Preparar distintos tipos de combustibles residuales	455
4.5.3	Técnicas para la preparación de combustibles residuales sólidos	456
4.5.3.1	Selección de técnicas empleadas para la preparación de combustibles residuales sólidos.....	456
4.5.3.2	Secado del combustible residual sólido	457
4.5.3.3	Separación magnética de metales ferrosos	458
4.5.3.4	Separación de metales no ferrosos.....	459
4.5.3.5	Separadores de todo tipo de metales.....	460
4.5.3.6	Separación positiva y negativa	460
4.5.3.7	Uso de asistencia neumática para la reducción del tamaño	461
4.5.3.8	Tamiz de tambor.....	462
4.5.3.9	Mejoras de los filtros de polvo en los ciclones de los clasificadores de aire	463
4.5.3.10	Espectroscopia en el infrarrojo cercano.....	463
4.5.3.11	Recogida automática.....	464
4.5.3.12	Granulación y aglomeración.....	465
4.5.3.13	Trituración criogénica.....	465
4.5.4	Técnicas para la preparación de combustible residual líquido	466
4.5.4.1	Técnicas genéricas para la preparación de combustible residual líquido	466
4.5.4.2	Craqueo térmico de aceites residuales	468
4.5.4.3	Filtración por membrana como reprocesamiento ligero de aceites residuales.....	469
4.5.5	Preparación de combustible residual gaseoso	469
4.5.6	Técnicas de prevención y reducción aplicadas en la preparación de combustible residual a partir de residuos peligrosos	470
4.6	Tratamientos de gas residual.....	471
4.6.1	Técnicas genéricas de prevención	471
4.6.2	Sistema de detección y reparación de fugas	474
4.6.3	Ciclones.....	474
4.6.4	Precipitadores electrostáticos (PE).....	475
4.6.5	Filtros de tela.....	476
4.6.6	Separadores de láminas	477
4.6.7	Adsorción	477
4.6.8	Condensación	480
4.6.9	Espumas temporales y de larga duración	482
4.6.10	Biofiltros	483
4.6.11	Depuración	489
4.6.12	Depuración química	491
4.6.13	Procesos oxidativos bajos.....	492
4.6.14	Incineración.....	493
4.6.15	Combustión combinada.....	495
4.6.16	Combustión catalítica	496
4.6.17	Oxidante catalítico regenerativo.....	498
4.6.18	Oxidante térmico regenerativo	499
4.6.19	Tratamientos oxidativos	501
4.6.20	Tratamiento de plasma no térmico	502
4.6.21	Técnicas de reducción de las emisiones de NO _x	503
4.6.22	Técnicas de reducción de olores.....	503
4.6.23	Gestión de olores en instalaciones con tratamiento biológico.....	504
4.6.24	Ejemplos de tratamiento de gases residuales aplicados a diferentes tratamientos de residuos	505
4.6.25	Ejemplos de tratamiento combinado de aire de escape	506
4.6.26	Ejemplos de comparaciones de técnicas de reducción de emisiones volátiles aplicadas a la preparación de combustible residual procedente de residuos peligrosos	508
4.7	Gestión de aguas residuales	508
4.7.1	Gestión de aguas residuales dentro del sector de tratamiento de residuos	509
4.7.2	Parámetros a tener en cuenta antes de mezclar aguas residuales.....	512
4.7.3	Tratamientos primarios de aguas residuales.....	513
4.7.4	Tratamientos secundarios de aguas residuales	514
4.7.5	Tratamientos terciarios de aguas residuales	515
4.7.6	Tratamientos finales de aguas residuales	517
4.7.6.1	Evaporación.....	518
4.7.6.2	Adsorción	519
4.7.6.3	Filtración por membrana	520
4.7.6.4	Tratamiento con ozono/UV	522

4.7.7	Declaración de los componentes del efluente generados en las instalaciones de tratamiento de residuos	524
4.7.8	Ejemplos de plantas de tratamiento de aguas residuales del sector	526
4.8	Gestión de residuos	526
4.8.1	Plan de gestión de residuos	526
4.8.2	Técnicas para evitar la contaminación del suelo	528
4.8.3	Técnicas para reducir la acumulación de residuos dentro de las instalaciones	529
4.8.4	Promoción del intercambio externo de residuos	530
5	MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES.....	533
5.1	MTD genéricas	535
5.2	MTD para tipos concretos de tratamiento de residuos	548
6	TÉCNICAS EMERGENTES.....	555
7	CONCLUSIONES	563
	BIBLIOGRAFÍA.....	567
	GLOSARIO	573
8	ANEXOS.....	581
8.1	Anexo I. Legislación ambiental y valores límite de emisión aplicados al sector del tratamiento de residuos.....	582
8.1.1	Directiva de residuos	582
8.1.2	Legislación de la UE aplicable a los aceites residuales	583
8.1.3	Otras legislaciones sobre residuos de la UE	584
8.1.4	Legislaciones de algunos países de la UE.....	584
8.1.4.1	Francia	584
8.1.4.2	Alemania	584
8.1.4.3	Grecia.....	585
8.1.4.4	Italia	586
8.1.4.5	España.....	587
8.1.4.6	Reino Unido	588
8.1.4.7	Bélgica	588
8.1.4.8	Países Bajos	589
8.1.4.9	Austria.....	589
8.1.5	Legislación sobre residuos en otros países	589
8.2	Anexo II. Cuestionario empleado para recopilar información ambiental sobre las instalaciones europeas de tratamiento de residuos	591
8.3	Anexo III: Tipos de residuos y de producción de residuos en la UE.....	599
8.3.1	Residuos sólidos municipales (RSM).....	602
8.3.2	Aguas contaminadas	603
8.3.3	Lodos residuales	604
8.3.4	Ácidos y bases residuales	604
8.3.5	Adsorbentes de residuos	604
8.3.6	Catalizadores residuales.....	605
8.3.7	Residuos procedentes de los procesos de combustión	606
8.3.8	Aceite residual	608
8.3.9	Disolventes residuales	611
8.3.10	Plásticos residuales	611
8.3.11	Maderas residuales.....	612
8.3.12	Residuos de cianuro	612
8.3.13	Otros residuos inorgánicos.....	613
8.3.14	Residuos de materiales cerámicos refractarios	613
8.3.15	Residuos peligrosos del sector de la construcción y la demolición	613
8.3.16	Residuos contaminados con PCB	613
8.4	Anexo IV. Sistemas de garantía de calidad para combustibles secundarios recuperados (CSR)	615

Lista de figuras

Figura 1.1:	Gestión de los aceites residuales en la UE en 1999.....	9
Figura 2.1:	Estructura de los capítulos.....	28
Figura 2.2:	Operaciones habituales en los tratamientos de residuos y cómo se han distribuido éstas en el presente documento y siguientes capítulos	28
Figura 2.3:	Ejemplo de una instalación de tratamiento de residuos integrada.....	30
Figura 2.4:	Diagrama de flujos simplificado de un ejemplo de comprobación o inspección de una instalación de tratamiento físico-químico de aguas residuales.....	34
Figura 2.5:	Ejemplo de recepción y aceptación de residuos en una instalación que trate líquidos a granel y bidones.....	35
Figura 2.6:	Representación esquemática de las entradas y salidas de un tratamiento mecánico-biológico.....	53
Figura 2.7:	Tratamiento de residuos marinos acuosos.....	59
Figura 2.8:	Ejemplos de algunas separaciones mecánicas usadas para el tratamiento de las cenizas de fondo.....	66
Figura 2.9:	Representación de un proceso de inmovilización.....	69
Figura 2.10:	Esquema general de flujos de una instalación de lavado de residuos.....	78
Figura 2.11:	Tratamiento de CFC para generar ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico.....	84
Figura 2.12:	Destilación en vacío de residuos que contienen mercurio.....	85
Figura 2.13:	Tratamientos de aceites usados y planteamiento de división empleado en este documento.....	86
Figura 2.14:	Esquema de flujos genérico de una instalación de tratamiento de aceite residual.....	87
Figura 2.15:	Ejemplo de instalación de regeneración de disolventes residuales.....	97
Figura 2.16:	Ejemplo de esquema de flujos de regeneración de disolventes clorados	97
Figura 2.17:	Tratamiento de residuos fotográficos líquidos	104
Figura 2.18:	Algunas posibilidades actuales para el uso de residuos como combustible en diferentes sectores.....	106
Figura 2.19:	Esquema del proceso de producción de combustible residual sólido.....	108
Figura 2.20:	Ejemplo de la producción de combustible sólido a partir de residuos peligrosos líquidos o semilíquidos.....	111
Figura 2.21:	Ejemplo de la distribución de un proceso para la preparación de combustible residual líquido.....	114
Figura 2.22:	Ejemplo de la distribución de un proceso para la producción de combustible residual líquido por fluidificación.....	116
Figura 2.23:	Ejemplo de la organización del proceso para la preparación de emulsiones.....	118
Figura 2.24:	Ejemplo de un reprocesamiento suave de aceite residual.....	121
Figura 3.1:	Residuos entrantes y salientes en una operación de tratamiento de residuos.	132
Figura 3.2:	Representación esquemática de los materiales de entrada y de salida de una digestión anaerobia.....	154
Figura 3.3:	Principales flujos de emisión procedentes de los tratamientos físico-químicos de las aguas residuales.....	182
Figura 3.4:	Posibles flujos de emisión de los tratamientos físico-químicos.	182
Figura 3.5:	Materiales de entrada y de salida del tratamiento de rerrefinado.	211
Figura 3.6:	Ejemplo de un plan de regeneración de disolventes usados y puntos de emisión.	231
Figura 3.7:	Diagrama de flujo esquemático de una instalación genérica de regeneración de carbón.....	234
Figura 4.1:	Sistema de inertización con gas en un sistema de almacenamiento utilizado en una instalación de rerrefinado de aceites residuales.....	333
Figura 4.2:	Selección de un sistema de tratamiento biológico adecuado en función de la concentración y de la forma de los residuos.....	363
Figura 4.3:	Representación de un proceso de precipitación y neutralización	384
Figura 4.4:	Clasificación de la tecnología de membrana según la tarea de separación.....	393
Figura 4.5:	Sistema de control y reducción de la contaminación atmosférica de una instalación de tratamiento físico-químico.....	400
Figura 4.6:	Niveles alcanzables en un tratamiento de aguas residuales usado en el proceso de rerrefinado.....	440
Figura 4.7:	Tratamiento de aguas residuales usado en el proceso de rerrefinado (tratamiento EPF con arcilla).....	440
Figura 4.8:	Tratamiento de aguas residuales usado en una instalación de tratamiento de aceites residuales.....	441
Figura 4.9:	Tamices de tambor.	462

Figura 4.10: Gestión de efluentes dentro de las instalaciones de tratamiento de residuos, que pueden clasificarse según se indica a continuación, en la Tabla 4.75.....	510
Figura 4.11: Ejemplo de diagrama que representa una instalación de ósmosis inversa de tres etapas.....	522
Figura 4.12: Ejemplo de diagrama de flujo que muestra el tratamiento de ozono/UV de las aguas residuales.....	523
Figura 4.13: Ejemplo de diagrama de flujo que muestra un tratamiento biológico y UV.....	524
Figura 8.1: Aceites de base consumidos y aceites usados de lubricantes generados en la UE.....	609

Lista de tablas

Tabla 1.1:	Instalaciones para la transferencia de residuos.....	4
Tabla 1.2:	Instalaciones para el tratamiento biológico de residuos.....	5
Tabla 1.3:	Instalaciones para el tratamiento físico-químico de residuos.....	6
Tabla 1.4:	Instalaciones para el rerrefinado de aceite residual en los países europeos.....	10
Tabla 1.5:	Volúmenes de aceite usado de lubricante quemado en la UE por año.....	11
Tabla 1.6:	Instalaciones en las que los aceites residuales se usan como combustible o en las que se reprocesan para producir un combustible.....	12
Tabla 1.7:	Instalaciones para disolventes residuales en países europeos.....	13
Tabla 1.8:	Instalaciones para el tratamiento de catalizadores residuales, residuos procedentes de la reducción de la contaminación y otros residuos inorgánicos en los países europeos.....	14
Tabla 1.9:	Instalaciones de carbón activo en los países europeos.....	15
Tabla 1.10:	Tipos de hornos de reactivación CAG en uso en todo el mundo.....	15
Tabla 1.11:	Instalaciones para la regeneración de ácidos y bases residuales.....	16
Tabla 1.12:	Instalaciones para la preparación de residuos que serán utilizados como combustible.....	18
Tabla 1.13:	Resumen del mercado europeo de combustibles sólidos recuperados en el año 2000.....	19
Tabla 1.14:	Previsión del mercado europeo de combustibles sólidos recuperados en 2005.....	20
Tabla 1.15:	Producción y número de instalaciones para la preparación de combustible residual principalmente a partir de residuos peligrosos en la UE-15.....	21
Tabla 1.16:	Consumo de combustible de la industria del cemento en Europa.....	24
Tabla 1.17:	Principales contaminantes emitidos por los tratamientos de residuos y sus fuentes principales.....	25
Tabla 1.18:	Principales contaminantes del agua (parámetros) emitidos por los tratamientos de residuos y sus fuentes principales.....	26
Tabla 2.1:	Información contenida en la descripción de cada técnica incluida en el capítulo 2.....	29
Tabla 2.2:	Ejemplos de subsistemas de operaciones y sus componentes.....	30
Tabla 2.3:	Técnicas comunes aplicadas en el tratamiento de residuos.....	47
Tabla 2.4:	Tratamientos biológicos de residuos.....	49
Tabla 2.5:	Tecnologías de digestión anaerobia.....	51
Tabla 2.6:	Tipos de residuos aceptados en las instalaciones de tratamiento físico-químico del Reino Unido.....	57
Tabla 2.7:	Análisis de algunos tipos representativos de instalaciones de tratamiento físico-químico.....	58
Tabla 2.8:	Operaciones unitarias usadas en los tratamientos físico-químicos.....	64
Tabla 2.9:	Operaciones unitarias comunes usadas en los tratamientos físico-químicos.....	82
Tabla 2.10:	Algunos tratamientos específicos para los residuos que contienen PCB y COP.....	83
Tabla 2.11:	Técnicas de acabado usadas para el tratamiento de aceites residuales.....	90
Tabla 2.12:	Tecnologías para el rerrefinado de aceite residual.....	95
Tabla 2.13:	Disolventes residuales normalmente recuperados.....	96
Tabla 2.14:	Operaciones unitarias empleadas para la regeneración de disolventes residuales.....	98
Tabla 2.15:	Pasos de procesamiento adicionales requeridos de acuerdo con la forma física, para entregar el combustible residual según las especificaciones del consumidor.....	110
Tabla 2.16:	Tratamientos aplicados a los aceites residuales antes de su uso como combustible.....	120
Tabla 2.17:	Uso de aceite residual con reprocesamiento suave como combustible.....	123
Tabla 2.18:	Información sobre el proceso de DAP.....	125
Tabla 2.19:	Ejemplo de producciones en condiciones de funcionamiento adecuadas.....	126
Tabla 3.1:	Estructura de los apartados del capítulo 3.....	131
Tabla 3.2:	Resumen de las sustancias que generan las actividades de tratamiento de residuos y que normalmente se liberan al medio ambiente.....	133
Tabla 3.3:	Flujos de residuos que habitualmente se procesan en las estaciones de transferencia de residuos peligrosos en el Reino Unido.....	134
Tabla 3.4:	Ejemplos de materias primas que se emplean normalmente en los tratamientos de residuos.....	135
Tabla 3.5:	Resumen de los datos para calderas pequeñas que emplean gas destilado, combustible residual (fuelóleos 5,6) o motores diésel.....	136
Tabla 3.6:	Emisiones potenciales en los centros de traslado, procesos de acumulación y almacenamiento.....	139
Tabla 3.7:	Actividades/equipos que pueden provocar emisiones durante algunos tratamientos habituales de residuos.....	140
Tabla 3.8:	Aire expulsado en la trituración de residuos sólidos peligrosos.....	141
Tabla 3.9:	Ejemplo de los accidentes más frecuentes que ocurren en las instalaciones de TR.....	143
Tabla 3.10:	Emisiones al agua de fuentes puntuales.....	145

Tabla 3.11:	Ejemplo de las emisiones totales estimadas que produce un centro de traslado de residuos.....	147
Tabla 3.12:	Emisiones de tratamientos de residuos específicos	148
Tabla 3.13:	Características deseadas del material de entrada en los procesos de biodegradación de lodos para descontaminar los suelos.....	150
Tabla 3.14:	Aplicabilidad de la biodegradación de lodos para el tratamiento de contaminantes en suelos, sedimentos y fangos.....	151
Tabla 3.15:	Consumo y producción de electricidad.....	152
Tabla 3.16:	Índices de oxigenación.....	152
Tabla 3.17:	Consumos específicos de energía de los procesos de digestión aerobia.....	152
Tabla 3.18:	Ejemplos de emisiones gaseosas procedentes de las instalaciones anaerobias.....	155
Tabla 3.19:	Características típicas de las aguas residuales procedentes de la digestión anaerobia.....	156
Tabla 3.20:	Ejemplos de parámetros aéreos de algunos TMB.....	158
Tabla 3.21:	Emisiones relevantes en las operación de los TMB.....	159
Tabla 3.22:	Compuestos orgánicos identificados por cuatro análisis de los gases de escape (tres pruebas aerobias con degradación intensiva y posbiológica, y una en la instalación anaerobia).....	162
Tabla 3.23:	Emisiones de CFC procedentes de los TMB (gas crudo)	162
Tabla 3.24:	Lixiviado de la digestión aerobia.....	163
Tabla 3.25:	Resumen de los datos sobre emisiones de los sistemas de biorremediación ex situ	164
Tabla 3.26:	Residuos salientes previstos (según una composición normal de los residuos) de la instalación.....	165
Tabla 3.27:	Composición del biogás generado por digestión anaerobia.....	165
Tabla 3.28:	Valores de la producción neta de energía a partir de diferentes fuentes.....	166
Tabla 3.29:	Composición del preparado de residuo sólido.....	166
Tabla 3.30:	Características químicas del digestato anaerobio.....	167
Tabla 3.31:	Perspectiva general sobre la tecnología anaerobia para el tratamiento de residuos municipales biodegradables.....	167
Tabla 3.32:	Residuos salientes del TMB	168
Tabla 3.33:	Perspectiva general sobre los materiales de salida del TMB para el tratamiento de residuos municipales biodegradables.....	168
Tabla 3.34:	Cantidades transferidas de carbono, nitrógeno y cloro por gas y lixiviado.....	169
Tabla 3.35:	Rendimiento de una biodegradación de lodos para tratar residuos que contienen madera.....	169
Tabla 3.36:	Tipos de residuos que pueden tratarse en una instalación de tratamiento físico-químico.....	171
Tabla 3.37:	Criterios de aceptación y de procesamiento para la floculación/flotación y tratamiento biológico para residuos marinos acuosos.....	171
Tabla 3.38:	Caracterización de los residuos procedentes de las incineradoras de RSM.....	172
Tabla 3.39:	Componentes principales de la escoria/cenizas de fondo.....	172
Tabla 3.40:	Composición química de las cenizas de fondo procedentes de la instalación incineradora de residuos domésticos.....	173
Tabla 3.41:	Valores generales de las cenizas de fondo después de la incineración de los residuos domésticos.....	173
Tabla 3.42:	Metales en las cenizas volantes y de fondo procedentes de la incineración de los residuos sólidos municipales.....	173
Tabla 3.43:	Composición del amianto.....	174
Tabla 3.44:	Productos y opciones de eliminación para la técnica de los electrones solvatados.....	175
Tabla 3.45:	Consumos del tratamiento físico-químico de las aguas residuales	176
Tabla 3.46:	Las sustancias químicas y algunas cantidades consumidas en la desintoxicación, neutralización y deshidratación para la eliminación de metales de las aguas residuales.....	177
Tabla 3.47:	Consumo teórico de bases para la precipitación de 100 g de metal.....	177
Tabla 3.48:	Valores límite de precipitación para diversos metales.....	178
Tabla 3.49:	Consumo de sustancias químicas en las reacciones rédox.....	179
Tabla 3.50:	Datos físicos de los adsorbentes.....	180
Tabla 3.51:	Descripción general de los tipos de intercambiadores y de sus propiedades.....	180
Tabla 3.52:	Datos del consumo de sustancias químicas en el tratamiento de residuos marinos acuosos y residuos afines.....	181
Tabla 3.53:	Consumos de las instalaciones de tratamiento de lavado de suelos.....	181
Tabla 3.54:	Consumos de una instalación para el tratamiento de suelos contaminados mediante lavados.....	181
Tabla 3.55:	Emisiones gaseosas de los tratamientos físico-químicos de aguas residuales.....	183

Tabla 3.56:	Residuos generados en el proceso procedentes de las instalaciones de tratamiento físico-químico.	185
Tabla 3.57:	Lodos generados en el tratamiento físico-químico de aguas residuales	185
Tabla 3.58:	Emisiones de los procesos de tratamiento físico-químico que se aplican al agua residual.	188
Tabla 3.59:	Emisiones de los procesos de tratamiento físico-químico que se aplican a sólidos y lodos.	189
Tabla 3.60:	Resultados de las medidas de las emisiones.	190
Tabla 3.61:	Emisiones de la desorción térmica mediante calefacción directa e indirecta.	190
Tabla 3.62:	Emisiones genéricas de la desorción térmica.	191
Tabla 3.63:	Características del material de entrada y de salida de las secadoras de aglomerados de asfalto.	191
Tabla 3.64:	Emisiones previstas de los compuestos seleccionados para la limpieza del suelo contaminado por PCB mediante un proceso de desorción térmica.	192
Tabla 3.65:	Emisiones de los sistemas de extracción con vapor.	192
Tabla 3.66:	Emisiones estimadas para un sistema de extracción al vacío in situ.	193
Tabla 3.67:	Emisiones de una instalación que trata suelos contaminados mediante lavado.	193
Tabla 3.68:	Eficacia de la destrucción en los procesos de hidrogenación.	195
Tabla 3.69:	Residuos salientes del tratamiento físico-químico de las aguas contaminadas.	196
Tabla 3.70:	Residuos salientes del tratamiento físico-químico del agua contaminada en el tratamiento de disolventes y coágulos de barnices.	197
Tabla 3.71:	Valores de emisión alcanzados tras pulir el efluente, por ejemplo, mediante filtración en arena o filtros de intercambio iónico.	197
Tabla 3.72:	Vías de reutilización de la fracción mineral de la ceniza de fondo tratada en Alemania.	198
Tabla 3.73:	Composición metálica de la ceniza de fondo tratada después del tratamiento físico-químico (análisis de sólidos).	198
Tabla 3.74:	Análisis de la calidad de las cenizas de fondo tras el tratamiento físico-químico (análisis del eluido).	199
Tabla 3.75:	Residuos salientes de una instalación para el tratamiento de suelos contaminados mediante lavados.	199
Tabla 3.76:	Datos de los productos desintegrados de los CFC.	200
Tabla 3.77:	Tipos de aditivos utilizados en los lubricantes.	202
Tabla 3.78:	Tipo de residuos que contienen aceites residuales.	203
Tabla 3.79:	Lista indicativa de los compuestos presentes en los aceites usados de lubricantes.	205
Tabla 3.80:	Concentraciones estimadas de metales en los aceites residuales de la industria.	206
Tabla 3.81:	Criterios de aceptación para residuos de líquidos fotográficos desplateados y aguas residuales similares (sometidas a una misma vía de procesado).	209
Tabla 3.82:	Consumos de diferentes técnicas de rerrefinado de aceites residuales.	210
Tabla 3.83:	Consumos de las actividades de rerrefinado de aceites residuales.	210
Tabla 3.84:	Consumos del sistema de DAT y del DAT combinado con el DAP.	212
Tabla 3.85:	Consumos de diferentes instalaciones de rerrefinado de aceites residuales en la UE.	212
Tabla 3.86:	Consumos de dos tratamientos de regeneración de disolventes usados.	212
Tabla 3.87:	Balance de masas en una regeneración comercial del catalizador CoMo.	213
Tabla 3.88:	Cantidades de materiales auxiliares empleadas para desplatear los residuos de películas fotográficas.	213
Tabla 3.89:	Consumos de sustancias químicas para la ultrafiltración/precipitación de sulfuros.	214
Tabla 3.90:	Consumo de sustancias químicas para el tratamiento de residuos líquidos fotográficos desplateados.	214
Tabla 3.91:	Emisiones habituales de las instalaciones de tratamiento de aceites residuales.	217
Tabla 3.92:	Tabla para asignar el material de entrada a los flujos de aire, aceite y agua en los procesos en frío y en caliente.	218
Tabla 3.93:	Principales fuentes de emisiones en las instalaciones de reciclaje de aceites.	219
Tabla 3.94:	Problemas ambientales que generan diferentes técnicas de rerrefinado de aceite residual.	224
Tabla 3.95:	Tabla de emisiones al aire de todos los procesos habituales en las instalaciones de regeneración de disolventes y aceites.	225
Tabla 3.96:	Emisiones al aire de diversas instalaciones de rerrefinado de aceites residuales en la UE.	226
Tabla 3.97:	Parámetros del agua residual de diferentes procesos de rerrefinado de aceites residuales.	227
Tabla 3.98:	Matriz de emisión al agua de todos los procesos habituales en las instalaciones de reciclaje de disolventes y aceites.	227

Tabla 3.99:	Emisiones al agua de diferentes instalaciones de rerrefinado que funcionan en la UE	228
Tabla 3.100:	Tipos de residuos generados en procesos de rerrefinado de aceites residuales.....	229
Tabla 3.101:	Matriz de emisión al terreno de todos los procesos habituales en las instalaciones de reciclaje de disolventes y aceites.	229
Tabla 3.102:	Evaluación de la actuación ambiental de diversas actividades de rerrefinado y reutilización.....	230
Tabla 3.103:	Principales fuentes y matrices de emisión de las instalaciones de reciclaje de disolventes y aceites.....	232
Tabla 3.104:	Emisiones al aire y al agua de las instalaciones de regeneración de disolventes de la UE.....	233
Tabla 3.105:	Posibles emisiones en diferentes regeneradores de catalizadores.....	234
Tabla 3.106:	Vías potenciales de emisión de las sustancias prescritas y de otras sustancias que pueden causar daños.....	235
Tabla 3.107:	Valores de emisión encontrados en diferentes regeneradores de carbón.....	236
Tabla 3.108:	Valores de emisión encontrados en diferentes regeneradores de intercambiadores iónicos.....	237
Tabla 3.109:	Emisiones de los tratamientos de ácidos y bases residuales.....	237
Tabla 3.110:	Emisiones al agua del tratamiento de residuos líquidos fotográficos y de otras aguas residuales.....	238
Tabla 3.111:	Efecto del hidroacabado en los contaminantes del alimento después del desasfaltado.....	239
Tabla 3.112:	Problemas relacionados con las diferentes técnicas de regeneración de aceites residuales.....	240
Tabla 3.113:	Especificación de productos para el tratamiento de compuestos cloro-orgánicos frente al estándar DIN.....	241
Tabla 3.114:	Regeneración comercial del catalizador CoMo.....	241
Tabla 3.115:	Algunos ejemplos de los tipos de residuos utilizados para la preparación de combustibles sólidos y líquidos.....	243
Tabla 3.116:	Poderes caloríficos típicos de diferentes tipos de residuos.....	244
Tabla 3.117:	Algunos tipos de materiales utilizados en algunos procesos de coincineración.....	245
Tabla 3.118:	Características importantes de los RSM, y de algunos de sus componentes, para su utilización como combustible.....	246
Tabla 3.119:	La utilización del plástico residual proveniente de diversos sectores industriales como combustible.....	246
Tabla 3.120:	Composición típica de fuelóleos y aceites lubricantes.....	248
Tabla 3.121:	Características de combustibles de neumáticos.....	248
Tabla 3.122:	Contenido en metales de residuos de madera.....	249
Tabla 3.123:	Consumos en el tratamiento térmico de aceites residuales.....	249
Tabla 3.124:	Consumos generados por el craqueo térmico de aceites residuales.....	249
Tabla 3.125:	Elementos de salida generados por la gasificación de aceites residuales.....	249
Tabla 3.126:	Consumos en la preparación de residuos peligrosos que serán utilizados como combustible.....	250
Tabla 3.127:	Ejemplos de consumos para la preparación de combustibles a partir de RSM.....	251
Tabla 3.128:	Ejemplos de consumos para la preparación de combustible a partir de residuos no peligrosos.....	251
Tabla 3.129:	Ejemplos de emisiones por la producción de combustible residual a partir de RSM.....	252
Tabla 3.130:	Perspectiva general de algunas instalaciones de producción de combustible a partir de residuos sólidos en la UE.....	253
Tabla 3.131:	Ejemplos de emisiones al aire por la preparación de combustible a partir de residuos no peligrosos.....	254
Tabla 3.132:	Ejemplos de emisiones acuáticas por la preparación de combustible a partir de residuos no peligrosos.....	254
Tabla 3.133:	Emisiones al aire por la preparación de combustible residual a partir de residuos peligrosos.....	256
Tabla 3.134:	Gamas de valores que aparecen en permisos de algunas instalaciones.....	257
Tabla 3.135:	Residuos generados en la preparación de residuos peligrosos que serán utilizados como combustible.....	257
Tabla 3.136:	Emisiones generadas por la preparación de aceites residuales para ser utilizados como combustible.....	259
Tabla 3.137:	Materiales de entrada y de salida en instalaciones de tratamiento de aceites residuales que producen un material que se utilizará como combustible.....	260
Tabla 3.138:	Ejemplo de emisiones de una instalación de reciclaje de aceite que calienta el aceite durante el proceso.....	261
Tabla 3.139:	Emisiones generadas por el craqueo térmico de aceites residuales.....	261

Tabla 3.140:	Elementos de salida generados por la gasificación de aceites residuales	262
Tabla 3.141:	Aspectos ambientales relacionados con el proceso de aceites residuales para ser utilizados como combustible	262
Tabla 3.142:	Gama de composiciones de análisis de combustible residual sólido preparado a partir de RSM en Europa.....	264
Tabla 3.143:	Combustible residual sólido producido a partir de la fracción altamente calorífica de los residuos de demolición	265
Tabla 3.144:	Combustible recuperado producido a partir de fracciones separadas en origen de RSM y otros residuos combustibles (Finlandia)	266
Tabla 3.145:	Combustible recuperado producido de monoflujos de residuos comerciales e industriales (datos de una compañía alemana)	267
Tabla 3.146:	Perspectiva general de las diferentes formas físicas del combustible residual (residuos de salida).....	267
Tabla 3.147:	Ejemplos de especificaciones de residuos para que sean aceptados como combustible en hornos de cemento de algunos países.....	269
Tabla 3.148:	Ejemplos de especificaciones de diferentes tipos de residuos para que sean aceptados como combustible en hornos de cemento franceses	270
Tabla 3.149:	Valores estándar para el contenido contaminante de los residuos utilizados en los hornos de cemento de Suiza	271
Tabla 3.150:	Especificación típica para el fuelóleo recuperado suministrado a centrales eléctricas del Reino Unido	272
Tabla 3.151:	Componentes de residuos de salida procedentes del craqueo térmico de aceites residuales.....	272
Tabla 3.152:	Productos de salida generados por el craqueo térmico de aceites residuales	273
Tabla 3.153:	Productos de salida generados por la gasificación de aceites residuales	273
Tabla 3.154:	Contenidos en metales pesados con los que se tiene que cumplir según la BGS/12/	274
Tabla 3.155:	Tipos de calidad según la SFS 5875/13/.....	275
Tabla 3.156:	Sistema de garantía de la calidad de RWE Umwelt AG (Alemania)	277
Tabla 3.157:	Emisiones en los diferentes pasos de una instalación de tratamiento de aguas residuales.....	278
Tabla 3.158:	Emisiones relevantes del tratamiento de aguas residuales	279
Tabla 3.159:	Prácticas de monitorización aplicadas a instalaciones de tratamiento de residuos en la UE	282
Tabla 3.160:	Prácticas de control para algunos procesos de tratamiento de residuos, utilizadas en la UE	283
Tabla 3.161:	Ejemplos de parámetros y principios de análisis utilizados en el muestreo	285
Tabla 4.1:	Desglose de la información sobre cada técnica incluida en el capítulo 4.....	287
Tabla 4.2:	Técnicas de caracterización de la composición de residuos.....	290
Tabla 4.3:	Lista de parámetros de análisis considerados normalmente en la producción de combustible a partir de residuos peligrosos.....	291
Tabla 4.4:	Lista de parámetros de análisis considerados normalmente en el tratamiento de aceites residuales.....	291
Tabla 4.5:	Procedimientos de control identificados en instalaciones de tratamiento físico-químico.....	298
Tabla 4.6:	Factores económicos de equipamiento de laboratorio y de supervisión en unas instalaciones de tratamiento de aceites residuales.....	304
Tabla 4.7:	Coste de la aplicación del EMAS.....	319
Tabla 4.8:	Elaboración de informes sobre el consumo de energía	322
Tabla 4.9:	Ahorro de CO ₂ a partir de la integración de diferentes técnicas de mejora de la eficacia energética.....	325
Tabla 4.10:	Factores económicos de la integración de diferentes técnicas de mejora de la eficacia energética	326
Tabla 4.11:	Ejemplos de sustitución de materias primas.....	328
Tabla 4.12:	Ejemplo de tabla de compatibilidad para el almacenamiento de residuos peligrosos	347
Tabla 4.13:	Ingredientes que afectan a la evaporación.....	352
Tabla 4.14:	Concentraciones máximas permitidas para la mezcla de residuos para valorización.....	353
Tabla 4.15:	Concentraciones máximas permitidas para la mezcla en cocombustión o coincineración	353
Tabla 4.16:	Valores de emisión obtenidos con el uso de buenas máquinas y técnicas de disminución.....	370
Tabla 4.17:	Producción neta de energía que puede obtenerse con un funcionamiento óptimo de los procesos de digestión anaerobia	371
Tabla 4.18:	Generación de calor y electricidad a partir de la digestión anaerobia	372

Tabla 4.19:	Reducción comunicada de aromáticos policíclicos	375
Tabla 4.20:	Técnicas de disminución en aire usadas en instalaciones de tratamiento biológico	378
Tabla 4.21:	Técnicas que deben tenerse en cuenta en la tecnología de la membrana	392
Tabla 4.22:	Eficacias de eliminación de los tratamientos de floculación y flotación y de los tratamientos biológicos.....	398
Tabla 4.23:	Tratamiento de los gases emitidos en las grandes instalaciones de tratamiento físico-químico en Austria.....	399
Tabla 4.24:	Concentración de efluente en una instalación austriaca antes y después del tratamiento terciario de aguas residuales (tratamiento biológico por lotes in situ).....	400
Tabla 4.25:	Ejemplos de solidificación con cemento.....	408
Tabla 4.26:	Aplicabilidad de los reactivos para la estabilización de sólidos	409
Tabla 4.27:	Instalaciones de tratamiento térmico	412
Tabla 4.28:	Tecnologías de extracción con ácidos.....	415
Tabla 4.29:	Comparación de las características de la desorción térmica y los sistemas de tratamiento de los gases emitidos	418
Tabla 4.30:	Resumen de los datos de rendimiento del lavado de tierra	420
Tabla 4.31:	Eficacias del lavado de tierra para diferentes componentes.....	420
Tabla 4.32:	Resultados del tratamiento de los lodos del separador API mediante extracción con disolventes	421
Tabla 4.33:	Niveles alcanzables durante el proceso de evaporación de las aguas residuales	422
Tabla 4.34:	Beneficios ambientales obtenidos de la tecnología EPF.....	433
Tabla 4.35:	Aspectos económicos de las instalaciones de hidrotatamiento.....	435
Tabla 4.36:	Composición de diferentes entradas y salidas de distintos flujos de la PTAR en una refinería de aceites residuales.....	441
Tabla 4.37:	Niveles alcanzables en el efluente tras una PTAR biológica en unidades de tratamiento de aceites residuales.....	441
Tabla 4.38:	Características del efluente de una PTAR en una instalación de regeneración de disolventes residuales.....	444
Tabla 4.39:	Técnicas de reducción aplicadas en instalaciones de regeneración de catalizadores residuales.....	448
Tabla 4.40:	Referencias de emisiones al aire.....	450
Tabla 4.41:	Valores de emisión de agua alcanzables.....	452
Tabla 4.42:	Aplicabilidad de las técnicas en la regeneración de carbón activo para el tratamiento de los gases de combustión.....	453
Tabla 4.43:	Costes y cuotas de entrada del aceite residual para tres capacidades distintas de una instalación de craqueo térmico básica.....	468
Tabla 4.44:	Técnicas de prevención y reducción aplicadas en la producción de combustible residual a partir de residuos peligrosos.....	470
Tabla 4.45:	Sinopsis de los costes de control de emisiones para fuentes de área aplicados a la excavación y a la eliminación.....	473
Tabla 4.46:	Filtración de polvo con filtro de tela.....	476
Tabla 4.47:	Datos técnico-económicos para la adsorción.....	478
Tabla 4.48:	Costes de capital para controlar las emisiones de COV de sistemas de extracción para la purga de suelos.....	480
Tabla 4.49:	Costes de control de las emisiones al aire de una instalación típica de reciclaje de aceite.....	480
Tabla 4.50:	Datos sobre la condensación con nitrógeno líquido.....	481
Tabla 4.51:	Coste del control de emisiones al aire de una instalación típica de reciclaje de aceite.....	482
Tabla 4.52:	Calidades de los medios de biofiltración	484
Tabla 4.53:	Eficacia del biofiltro en el tratamiento mecánico-biológico de gases residuales (TMB).....	484
Tabla 4.54:	Intervalos de concentración correspondientes a algunos parámetros del aire de escape del TMB, que demuestran la eficacia de la retención del biofiltro para estos compuestos	485
Tabla 4.55:	Eficacia de separación de compuestos orgánicos en el biofiltro.....	486
Tabla 4.56:	Gas sin refinar y gas tratado con un biofiltro en una instalación de tratamiento de envases de aerosol.....	486
Tabla 4.57:	Consumos y costes de los biofiltros.....	489
Tabla 4.58:	Resumen de los costes correspondientes a los controles de emisiones de las fuentes superficiales aplicados a la excavación y retirada	491
Tabla 4.59:	Requerimientos energéticos de incineración relativos a diferentes concentraciones de hidrocarburos en el gas	493

Tabla 4.60:	Costes de capital relativos al control de emisiones de COV procedentes de los sistemas de extracción de ventilación del suelo	494
Tabla 4.61:	Coste del control de liberaciones de aire procedentes de una instalación de reciclaje de aceite típica con incineración	494
Tabla 4.62:	Eliminación de COV con el empleo de combustión combinada	495
Tabla 4.63:	Eliminación de COV mediante combustión catalítica.....	496
Tabla 4.64:	Requisitos energéticos con combustión catalítica para diferentes concentraciones de hidrocarburos en el gas.....	497
Tabla 4.65:	Costes de capital para el control de emisiones de COV procedentes de los sistemas de extracción de ventilación del suelo.....	497
Tabla 4.66:	Eliminación de COV con el empleo de oxidación catalítica regenerativa	498
Tabla 4.67:	Requerimientos energéticos con oxidación catalítica regenerativa para diferentes concentraciones de hidrocarburos en el gas	499
Tabla 4.68:	Emisiones al aire procedentes de instalaciones de destrucción térmica de efluentes gaseosos relativas a varias instalaciones de tratamiento de aceites residuales	501
Tabla 4.69:	Tratamiento térmico de corrientes contaminadas.....	502
Tabla 4.70:	Aplicabilidad de los tratamientos de gases residuales.....	506
Tabla 4.71:	Instalación de tratamiento de aire de escape de una instalación de tratamiento de disolventes residuales.....	507
Tabla 4.72:	Disminución combinada de emisiones de partículas y COV en una instalación de tratamiento de residuos peligrosos	507
Tabla 4.73:	Comparación de los filtros de mangas y reactores húmedos para la reducción de emisiones de polvo.....	508
Tabla 4.74:	Comparación de las técnicas de reducción de emisiones de COV	508
Tabla 4.75:	Técnicas de gestión de efluentes	510
Tabla 4.76:	Concentración de efluentes de una instalación FQ antes y después del tratamiento terciario de las aguas residuales	516
Tabla 4.77:	Tratamientos finales de aguas residuales	517
Tabla 4.78:	Parámetros del agua monitorizados en instalaciones de tratamiento de residuos.....	525
Tabla 6.1:	Técnicas emergentes de destrucción de COP.....	559
Tabla 6.2:	Tecnologías de tratamiento de aceites residuales en desarrollo	560
Tabla 6.3:	Técnicas emergentes que pueden aplicarse a la regeneración de carbón activo.....	560
Tabla 7.1:	Códigos y divisas de los países	580
Tabla 8.1:	Tipo de instalaciones de tratamiento de residuos y ejemplos de instalaciones incluidas en cada una de las distintas categorías de operaciones con residuos	583
Tabla 8.2:	Directivas CE en vigor que afectan a los aceites residuales.....	584
Tabla 8.3:	Legislación de la UE relacionada con las instalaciones de tratamiento de residuos	584
Tabla 8.4:	Valores límite de emisión alemanes aplicados al TMB	585
Tabla 8.5:	Valores límites de emisión para refinerías de aceite residuales.....	587
Tabla 8.6:	Valores límite de emisión en el vertido de aguas de una refinería de aceites residuales.....	587
Tabla 8.7:	Legislación sobre residuos del Reino Unido y sus correspondientes	588
Tabla 8.8:	Valores límite de emisión austríacos para emisiones en TMB.....	589
Tabla 8.9:	Condiciones para que un aceite residual no se considere un residuo peligroso.....	590
Tabla 8.10:	Clasificación europea de los residuos	599
Tabla 8.11:	Cantidad de cada tipo de residuo generado por cada país europeo	601
Tabla 8.12:	Porcentaje de cada tipo de residuo generado por cada país europeo.....	601
Tabla 8.13:	Cantidades de residuos estimadas en los países seleccionados	602
Tabla 8.14:	Composición de los residuos sólidos municipales en la UE y producción en distintos países europeos.....	602
Tabla 8.15:	Metales presentes en residuos sólidos municipales.....	603
Tabla 8.16:	Cantidad de agua contaminada que se genera en Francia.....	603
Tabla 8.17:	Residuos tratados en las instalaciones FQ en Renania del Norte-Westfalia, Alemania, en 1990 y cantidad prevista para 2005.....	603
Tabla 8.18:	Cantidad de lodos residuales producidos en algunos países europeos	604
Tabla 8.19:	Rangos de contaminación y contenido de lodos residuales.....	604
Tabla 8.20:	Sectores industriales donde se utilizan catalizadores	605
Tabla 8.21:	Resumen de los tipos de catalizadores utilizados con fines industriales	605
Tabla 8.22:	Residuos de centrales eléctricas alimentadas con carbón.....	607
Tabla 8.23:	Cantidades de residuos del TGC en algunos países europeos	607
Tabla 8.24:	Principales componentes de residuos del TGC.....	608
Tabla 8.25:	Aceites residuales lubricantes que se pueden recoger en la UE	610

Tabla 8.26:	Cálculos (en toneladas) de los aceites residuales lubricantes que se pueden recoger en el Reino Unido	611
Tabla 8.27:	Producción de disolventes y tratamiento de disolventes residuales	611
Tabla 8.28:	Plásticos residuales	612
Tabla 8.29:	Presencia de metales en plásticos	612
Tabla 8.30:	Cantidad de madera contaminada que se genera	612
Tabla 8.31:	Cantidad de residuos peligrosos generados en el sector de la construcción y la demolición de algunos países europeos	613
Tabla 8.32:	Contenidos de metales pesados que deben cumplirse de acuerdo con BGS	616
Tabla 8.33:	Clases de calidad de acuerdo con SFS 5875/13/	618
Tabla 8.34:	Sistema de garantía de calidad de RWE Umwelt AG	619
Tabla 8.35:	Sistema de clasificación	619

ÁMBITO

Éste y otros documentos BREF de la serie (véase la lista al dorso de la portada) pretenden abarcar las actividades que se describen en el apartado 5 del anexo I de la Directiva, Gestión de residuos. Otro BREF trata la incineración de residuos y algunos tratamientos térmicos de residuos, como la pirólisis y la gasificación (punto 5.2 del anexo I de la Directiva). Aunque el punto 5.4 del anexo I se refiere a los vertederos, este documento no incluye MTD para vertederos. Así, el ámbito de este documento se centra en los siguientes puntos del anexo I de la Directiva:

- *instalaciones para la valorización o eliminación de residuos peligrosos de la lista, contemplada en el apartado 4 del artículo 1 de la Directiva 91/689/CEE, tal como se definen en los anexos II A y II B (operaciones R1, R5, R6, R8 y R9) de la Directiva 75/442/CEE, con una capacidad de más de 10 toneladas por día;*
- *instalaciones para la eliminación de aceites residuales, tal como se definen en la Directiva 75/439/CEE del Consejo, de 16 de junio de 1975, con una capacidad de más de 10 toneladas por día;*
- *instalaciones para la eliminación de residuos no peligrosos, tal como se definen en el anexo II A de la Directiva 75/442/CEE, en las rúbricas D8 y D9, con una capacidad de más de 50 toneladas por día.*

Los códigos de valorización (R - Recovery) y eliminación (D - Disposal) de los anexos II A y II B de la Directiva 75/442/CEE en relación con la Directiva IPPC han cambiado de acuerdo con la Decisión 96/350/CE de la Comisión. Dado que esta última enmienda corresponde a la clasificación más reciente de códigos de operaciones de valorización y eliminación, en la siguiente tabla se indican los códigos de tipos de operaciones con residuos que se tratan en este documento, de acuerdo con la perspectiva del foro de intercambio de información (FII) y el grupo de trabajo técnico (GTT) y en la línea de la Directiva IPPC.

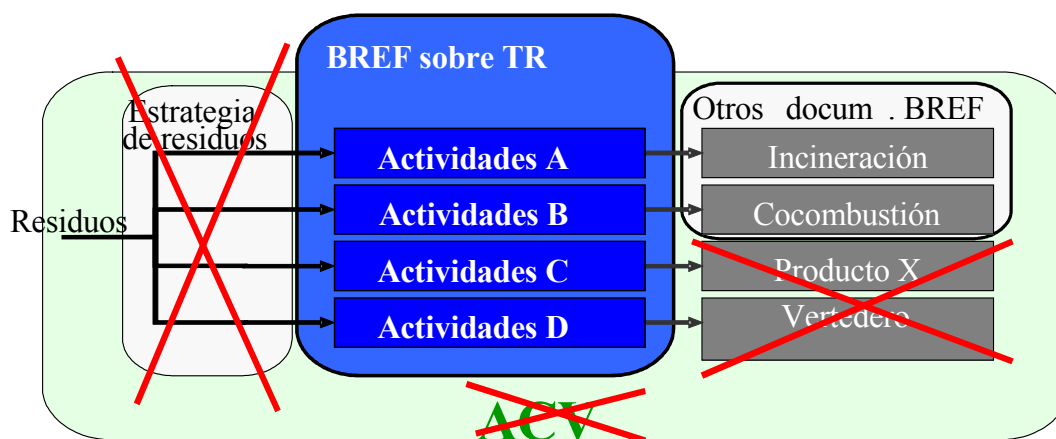
Actividad de tratamiento de residuos	Código R/D 96/350/CE
Utilización principal del residuo como combustible o como otro medio de generar energía	R1
Recuperación o regeneración de disolventes	R2
Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas (con exclusión de los metales y compuestos metálicos que se incluyen en R4)	R5
Regeneración de ácidos o de bases	R6
Valorización de componentes utilizados para reducir la contaminación	R7
Valorización de componentes procedentes de catalizadores	R8
Regeneración u otro nuevo empleo de aceites	R9
Intercambio de residuos para someterlos a cualquiera de las operaciones enumeradas entre R1 y R11	R12
Acumulación de residuos para someterlos a cualquiera de las operaciones enumeradas entre R1 y R12 (con exclusión del almacenamiento temporal previo a la recogida en el lugar de producción)	R13
Tratamiento biológico no especificado en otro apartado del anexo II de la Decisión 96/350/CE y que dé como resultado compuestos o mezclas que se eliminen mediante alguno de los procedimientos enumerados entre D1 y D12	D8
Tratamiento físico-químico no especificado en otro apartado del anexo II de la Decisión 96/350/CE y que dé como resultado compuestos o mezclas que se eliminen mediante uno de los procedimientos enumerados entre D1 y D12 (por ejemplo, evaporación, secado, calcinación, etc.)	D9
Combinación o premezcla a cualquiera de las operaciones enumeradas entre D1 y D12	D13
Reenvasado previo a cualquiera de las operaciones enumeradas entre D1 y D13	D14
Almacenamiento previo a cualquiera de las operaciones enumeradas entre D1 y D14 (con exclusión del almacenamiento temporal previo a la recogida en el lugar de producción)	D15

Actividades de tratamiento de residuos consideradas en este documento

A continuación intentaremos aclarar qué actividades del conjunto de la cadena de gestión de residuos se incluyen en este documento.

El sector de la gestión de residuos y el documento sobre tratamiento de residuos (TR)

En la gestión de residuos interviene una larga cadena de actividades que se extiende más allá del ámbito de la Directiva IPPC. La siguiente figura intenta resumir qué actividades del sector de la gestión de residuos se tratan en la serie de documentos BREF.



BREF sobre tratamiento de residuos y gestión de residuos

Nota: las zonas tachadas quedan fuera del ámbito de este documento.

Un análisis del ciclo de vida (ACV) completo aplicado a un residuo determinado puede considerar todos los eslabones de la cadena de residuos así como el impacto del residuo/producto final en el medio ambiente. La Directiva IPPC no pretende abordar estos análisis, sino que se centra en las instalaciones. Por ejemplo, la minimización de la cantidad o toxicidad de los residuos producidos en instalaciones industriales es algo intrínseco a la Directiva IPPC y que queda cubierto por el BREF de cada sector industrial (véase la lista al dorso de la portada de este documento). Otro ejemplo muestra que la gestión de residuos también incluye decisiones estratégicas sobre qué tipo de residuo se trata en cada opción/proceso/tratamiento de residuos disponible o qué tratamiento se da a dicho residuo. Esta decisión depende de las opciones de tratamiento de residuos disponibles a escala local, regional, nacional o internacional, algo que también depende de dónde se produce el residuo.

Como puede verse en la figura anterior, la combustión en sí de los residuos no se incluye en el ámbito de este documento, sino que se aborda en cada BREF individual, donde se analizan los diferentes procesos de combustión en función del sector industrial en el que se aplican (por ejemplo, incineración de residuos, grandes instalaciones de combustión, hornos de cemento...). Al incluir el procesamiento de residuos para su uso como combustible, este documento incluye los tratamientos que se pueden aplicar para conseguir combustible derivado de los diferentes tipos de residuos de la calidad requerida por los distintos procesos de combustión.

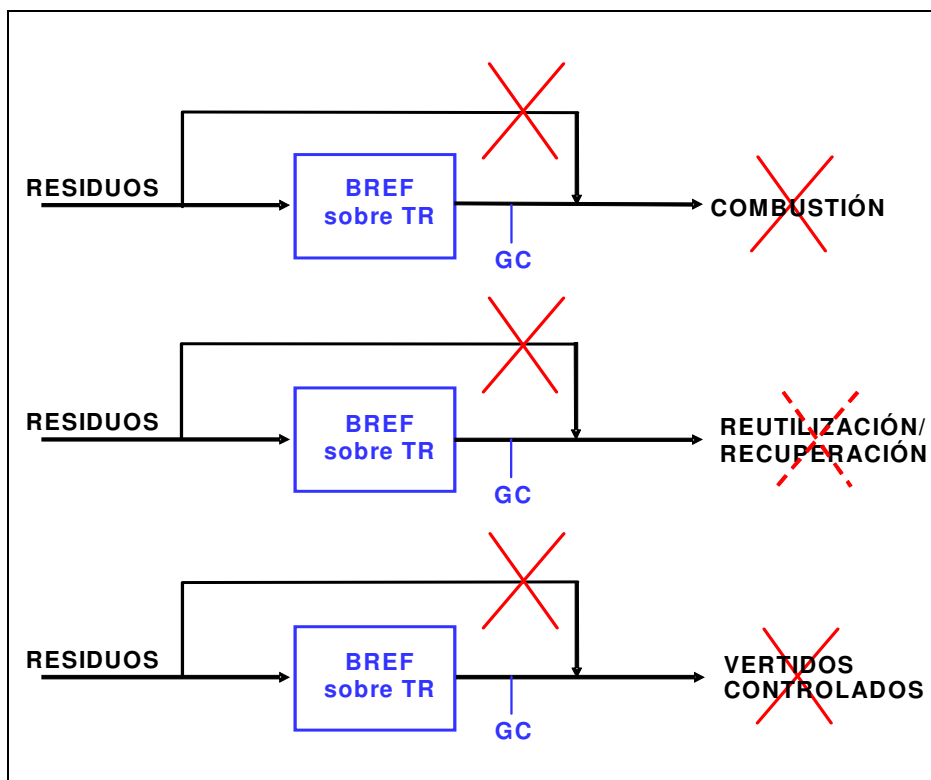
Algunos materiales se clasifican según la legislación, por ejemplo, como combustibles recuperados (CR), combustibles derivados de residuos (CDR) o combustibles sólidos recuperados (CSR). Aquí no se pretende entrar a debatir la definición de ningún término del sector de los residuos. Por ejemplo, sobre el último punto, puede encontrarse información en las propuestas del CEN. Asimismo, algunos de estos materiales pueden considerarse peligrosos, de acuerdo con la legislación.

Este documento incluye los tratamientos que pueden hacer que un residuo sea reutilizable o recuperable. Sin embargo, no incluye las opciones de reutilización o valorización que pasan directamente de un sector industrial a otro sin necesidad de tratamiento (por ejemplo, la reutilización de arena de moldeado u otros catalizadores compatibles como materia prima en

hornos de cemento o la reutilización de metales residuales en el procesamiento de metal no ferroso). Esto se ilustra en la siguiente figura.

Como ya se ha comentado anteriormente, en este documento no se incluyen técnicas relacionadas con vertederos. El único aspecto tratado en ese sentido es el tratamiento de residuos para poderlos depositar correctamente en vertederos.

La siguiente figura ilustra y resume lo comentado en los párrafos anteriores.



Ejemplos de tratamientos de residuos no incluidos en este documento

Nota: GC: garantía de calidad

Actividades con residuos incluidas en este documento

Teniendo en cuenta los temas y argumentos expuestos antes, el anexo I de la Directiva IPPC, los otros BREF producidos o en producción y el asesoramiento legal de la Comisión Europea, la siguiente tabla presenta una relación de actividades de tratamiento de residuos que se incluyen en el presente documento:

Tratamiento	Tipo de residuo o ejemplos del tipo de residuo	Información adicional
Instalaciones que se ocupan principalmente de tratamientos que producen residuos que deben ser eliminados		El GTT reconoce que, en muchos casos, hay instalaciones en las que resulta muy difícil diferenciar entre residuos que son materiales para otros usos o residuos que deben eliminarse, como, por ejemplo, variaciones debidas a razones de mercado, disponibilidad de residuos o composición de éstos, que es posible que indiquen que dependiendo de las condiciones en el momento de la producción se puedan reciclar, eliminar o, en determinadas condiciones económicas, incluso vender como un producto o materia prima para otros procesos.
Todos los tipos	Tierras excavadas	
Todos los tipos	Materiales que contienen CFC	Algunas incineradoras de HCFC
Todos los tipos	Materiales contaminados por COP (por ejemplo, PCB y dioxinas)	Comunicación de la Comisión para el Consejo, el Parlamento Europeo y el Comité Económico y Social (COM(2001) 593). La comunicación se refiere a la IPPC y las MTD (págs. 7, 15 y 17), y específicamente al BREF de tratamiento de residuos (conocido como I+D de residuos) e indica lo siguiente: «En el contexto del documento de referencia de las MTD sobre actividades de I+D de residuos, para poder estar preparados entre el 2002 y el 2004, es preciso prestar especial atención a la determinación de las MTD para el tratamiento de materiales residuales contaminados por PCB y dioxinas.» Este documento no incluye la incineración de dichos materiales.
Todos los tipos	Lodos con aceite y agua	
Todos los tipos	Plásticos que contienen contaminantes	
Todos los tipos	Lodos procedentes de PTAR	

Tratamiento	Tipo de residuo o ejemplos del tipo de residuo	Información adicional
Todos los tipos	Catalizadores usados	<p>El sector del tratamiento de catalizadores incluye aquellos tratamientos que se dedican a hacer reutilizables o regenerables los catalizadores gastados. No obstante, este documento no puede incluir las opciones de uso que van directamente de un sector industrial a otro sin que sea necesario ningún tratamiento (por ejemplo, la reutilización de catalizadores como materias primas en hornos de cemento o la reutilización de metales residuales en procesos de metales no ferrosos). Estos temas se incluyen en el BREF de cada uno de los sectores industriales. Este documento considerará y analizará el impacto de los diferentes tipos de residuos que se manipularán y transformarán con el fin de que terminen en una forma adecuada para poder usarse en determinados procesos.</p> <p>La regeneración de catalizadores puede llevarse a cabo in situ o ex situ. Este documento trata de las instalaciones ex situ. Los catalizadores gastados se pueden regenerar a veces para la industria en instalaciones de procesos integrados. En este documento no se incluirá la regeneración de catalizadores llevada a cabo para la industria en instalaciones integradas como una actividad asociada. Por esta razón, el documento se centra en las instalaciones independientes de regeneración.</p>
Todos los tipos	Residuos contaminados con mercurio	
Tratamientos comunes		
Combinación y mezcla		
Reempaquetado		
Almacenamiento de residuos y materias primas		BREF de almacenamiento Almacenamiento intermedio de residuos
Recepción, muestreo, comprobación y análisis de residuos		Actividades asociadas con las instalaciones de residuos
Instalaciones para el traslado y manipulación de residuos		
Estaciones de transferencia (peligrosos y no peligrosos)		
Tratamientos biológicos		
Tratamientos aerobios y anaerobios	Tierras excavadas contaminadas	Remediación ex situ
Tratamiento aerobio y anaerobio	Residuos no separados en origen (por ejemplo, residuos municipales mezclados)	Pretratamiento antes de su eliminación, que genera un material no adecuado para usarse como producto compostable
Tratamiento biológico	Líquidos acuosos biodegradables, como, por ejemplo, residuos de comida, metanol y otros disolventes miscibles con agua	Residuos líquidos a granel depositados en depuradoras. Tratamiento aerobio o anaerobio dependiendo de la configuración de las instalaciones

Tratamiento	Tipo de residuo o ejemplos del tipo de residuo	Información adicional
Tratamientos mecánicos y biológicos		Pretratamiento antes de su eliminación
Tratamientos físico-químicos		
Neutralización de ácidos	Ácidos clorhídrico, sulfúrico, nítrico, fluorhídrico y sales ácidas, como el cloruro de aluminio, etc.	Mezcla de ácidos con álcalis residuales o materias primas, como cal. Los ácidos nítrico y fluorhídrico se tratan normalmente por separado
Tratamiento/neutralización del álcali	Hidróxido de sodio y potasio, cal, solución de amoníaco, sales amónicas y compuestos amínicos	Sosa cáustica, álcalis y cal neutralizados con ácidos. La extracción con aire puede tratar soluciones acuosas de amoníaco. Es necesario mantener las sales amónicas y las aminas con un pH <9 con el fin de impedir la liberación de gases
Tratamiento del ácido crómico	El óxido de cromo (CrO ₃) es ácido, tóxico, soluble en agua y un agente oxidante	Conversión del Cr ⁶⁺ en un Cr ³⁺ menos peligroso mediante la adición de un agente reductor, como el metabisulfito de sodio seguido de precipitación
Tratamiento de cianuros	Sales de cianuro, como, por ejemplo, el cianuro de sodio procedente de los tratamientos de superficies metálicas	Conversión del cianuro a un cianato menos peligroso manteniendo el pH >10 mediante un agente oxidante
Deshidratación	Lodos creados por sedimentación	Producción de una torta de filtración sólida filtrando a través de filtros de tejidos o máquinas centrífugas o con filtros prensa
Tratamientos ex situ	Tierras excavadas contaminadas	
Filtración	Efluentes procedentes de la deshidratación, también usados para los materiales acuosos contaminados con aceite	Micro y ultrafiltración para eliminar partículas. Se puede usar la nanofiltración y la ósmosis inversa para eliminar las moléculas disueltas, pero actualmente no se usa para los tratamientos físico-químicos
Instalaciones portuarias de recepción	Agua contaminada	
Separación de aceite y agua	Materiales acuosos contaminados con aceite	Placas basculantes o separadores coalescentes que utilizan las diferencias en la gravedad específica
Tratamiento físico-químico	Amianto	
Tratamiento físico-químico	Madera contaminada	
Tratamiento físico-químico	Cerámica refractaria contaminada	
Tratamientos físico-químicos	Residuos líquidos, sólidos y de lodos (por ejemplo, sales y soluciones que contienen cianuro, pesticidas, biocidas y agentes para la conservación de la madera contaminada)	En la práctica, se usan ampliamente tratamientos físico-químicos, incluyendo todas las medidas para tratar residuos líquidos, fangosos y sólidos. Separación por fases (eliminación de partículas, desemulsificación, separación de líquidos insolubles, precipitación, sedimentación), tratamientos mecánicos, evaporación, deshidratación, desecación, estabilización y solidificación de residuos, neutralización, detoxificación, calcinación, combinación, mezcla, etc.

Tratamiento	Tipo de residuo o ejemplos del tipo de residuo	Información adicional
Precipitación	Metales, como, por ejemplo, Zn, Ni, Cr, Pb, Cu	Precipitación usando ácidos y álcalis para ajustar el pH con el fin de lograr solubilidades mínimas
Separación del mercurio de los residuos	Residuos contaminados con mercurio	
Separación, tratamiento físico-químico	Mezclas y emulsiones de aceite y agua	
Asentamiento	Efluentes que contienen ácidos o álcalis neutralizados, metales precipitados y otras partículas sólidas	Las partículas se pueden depositar fuera del efluente. Las partículas y la eficacia del asentamiento se puede mejorar añadiendo un floculante. Flotación por aire disuelto (FAD) se utiliza en algunas instalaciones (principalmente para lodos orgánicos) para producir un sólido floculado flotante
Solidificación y estabilización	Cenizas volantes y de fondo antes del vertido. En algunos casos, para hidrocarburos líquidos y semisólidos, residuos y lodos sólidos industriales de mineral	Las cenizas de fondo se tratan con más extensión en otros BREF como parte de sus procesos. Mezcla de residuos con absorbentes o aglutinantes, como, por ejemplo, bentonita, ceniza o polvo de hornos, para reducir el impacto ambiental
Tratamientos con UV y ozono	Agua contaminada	
Tratamientos para recuperar principalmente el material residual		
Reconcentración	Ácido y bases	Instalaciones para la regeneración térmica de HCl y la reconcentración del H ₂ SO ₄ gastado. El resto de los procesos de regeneración de ácido sulfúrico se incluyen en el BREF de productos químicos inorgánicos de gran volumen
Recuperación de materiales	Residuos procedentes de la disminución de la contaminación	
Recuperación de metales	Residuos fotográficos líquidos y sólidos	
Regeneración	Disolventes orgánicos	
Regeneración	Resinas de intercambio de iones gastados	
Regeneración y tratamiento	Carbón activo gastado	Incluye la regeneración de carbón activo. Regeneración de carbón activo gastado en la producción de cloroálcali basada en mercurio se encuentra en el BREF sobre cloroálcali
Rerrefinado	Aceites	
Tratamientos para producir principalmente un combustible		
Preparación de residuos que serán utilizados como combustible	Materiales peligrosos y no peligrosos	Todos los tipos de tratamientos (por ejemplo, reagrupación, mezclado, separación, etc.) para la preparación de residuos con el fin de usarse en toda clase de procesos de combustión (incineración, grandes instalaciones de combustión, hornos de cemento, fábricas de productos químicos, hierro y acero, etc.)
Preparación de combustibles residuales sólidos	Residuos no peligrosos	Por ejemplo, procedentes de residuos sólidos municipales, residuos comerciales, etc.
Preparación de combustibles residuales sólidos	Residuos peligrosos	

Tratamiento	Tipo de residuo o ejemplos del tipo de residuo	Información adicional
Preparación de combustible líquido a partir de residuos líquidos, como, por ejemplo, el procesamiento o mezcla de aceites	Aceites residuales Aceites (incluyendo los aceites vegetales) Aceite contaminado con agua Disolventes orgánicos	En este documento se incluirá todo tipo de tratamientos que se aplican a los aceites o disolventes residuales (por ejemplo, limpieza de aceites residuales y posterior procesamiento, refinado, etc.) Filtrado grueso, calentamiento o centrifugado y mezcla para producir el material a quemar

Residuos e instalaciones de tratamiento de residuos incluidos en este documento

1 INFORMACIÓN GENERAL

[5, Concawe, 1996], [7, Monier y Labouze, 2001], [13, Marshall, et al., 1999], [14, Ministry for the Environment, 2000], [36, Viscolube, 2002], [39, Militon, et al., 2000], [40, Militon y Becaud, 1998], [41, R.U., 1991], [42, R.U., 1995], [53, LaGrega, et al., 1994], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [100, PNUMA, 2000], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [122, Eucopro, 2003], [124, Iswa, 2003], [125, Ruiz, 2002], [126, Pretz, et al., 2003], [128, Ribí, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

1.1 Finalidad del tratamiento de residuos

Los productos secundarios son inherentes a cualquier proceso industrial y normalmente resultan inevitables. Además, los productos que consume la sociedad generan residuos. En muchos casos, estos materiales (tanto los productos secundarios como los residuos) no se pueden volver a utilizar por otros medios y es posible que ya no se pueda comerciar con ellos. Normalmente lo que se hace es entregarlos a terceras partes para su posterior tratamiento.

La razón del tratamiento de los residuos no es siempre la misma y a menudo depende del tipo que sea y de la naturaleza de su destino ulterior. Algunos tratamientos e instalaciones tienen varias finalidades. En el presente documento, las razones básicas para el tratamiento de los residuos son:

- reducir la naturaleza peligrosa de los residuos;
- separar los residuos en sus componentes individuales para que puedan asignarse, totalmente o en parte, para su posterior uso o tratamiento;
- reducir la cantidad de residuos que deberán enviarse finalmente para su eliminación;
- transformar los residuos en un material útil.

El proceso de tratamiento de los residuos puede implicar el desplazamiento y transferencia de sustancias entre diferentes medios. Por ejemplo, algunos procesos de tratamiento producen efluentes líquidos que se envían a la red de alcantarillado, así como residuos sólidos para los vertederos. Otros producen emisiones al aire principalmente debido a la incineración. De forma alternativa, los residuos se pueden prestar para otra ruta de tratamiento, como es el caso de la combustión procedente de fuelóleo recuperado. También existen varias actividades auxiliares importantes asociadas con el tratamiento, como la aceptación y almacenamiento de los residuos, bien pendiente de tratamiento in situ o de eliminación ex situ.

1.2 Instalaciones para el tratamiento de residuos

Este apartado resume el sector de tratamiento de residuos en la UE. Se incluye aquí una breve explicación de los tratamientos llevados a cabo.

El sector de residuos está ampliamente regulado en la UE. Por esta razón, existen muchas definiciones legales de los términos comunes que se usan en este sector (por ejemplo, residuos, residuos peligrosos, etc.). Algunas de estas definiciones se encuentran disponibles en la Directiva marco sobre residuos y en sus enmiendas.

Al final, los residuos bien se valorizan o bien se eliminan. Por tanto, las instalaciones para el tratamiento de residuos llevan a cabo operaciones para su valorización o eliminación. Normalmente no se considera que estas instalaciones vayan a crear un producto, como ocurre en otros sectores industriales. En lugar de ello, se entiende que lo que van a hacer es prestar un servicio a la sociedad encargándose de sus materiales residuales. Habitualmente, las instalaciones para el tratamiento de residuos cubren los terrenos, estructuras y otras áreas contiguas que se usan para el almacenamiento, valorización, reciclaje, tratamiento o eliminación de los residuos.

Como en el caso de la clasificación de los tipos de residuos, las actividades relacionadas con su tratamiento se encuentran legalmente clasificadas en el anexo II de la Directiva marco relativa a los residuos. En el apartado 8.1.1 del anexo de este documento se encuentra una copia de esta clasificación, junto con ejemplos de su aplicación.

El concepto de instalación dedicada a la gestión de residuos no es nuevo. Mucho antes de la promulgación de la legislación sobre residuos (peligrosos y no peligrosos), las empresas que producían residuos ya reconocían la necesidad de un tratamiento y eliminación especializados de éstos. Muchas de ellas construyeron y pusieron en funcionamiento sus propias instalaciones específicas, normalmente in situ.

Otras empresas de las que generaban residuos, y que no disponían de un lugar apropiado o no generaban un volumen suficientemente grande de residuos como para justificar la inversión en una instalación in situ, transportaban sus residuos a instalaciones especializadas para su tratamiento y eliminación. Dichas instalaciones se conocen normalmente como instalaciones exteriores para residuos comerciales. La industria de la gestión de residuos comerciales comenzó, así, el desarrollo de estas instalaciones exteriores a finales de los sesenta. Su misión era recoger y transportar los residuos a instalaciones exteriores especializadas en las que se llevaba a cabo el tratamiento y eliminación de dichos residuos.

Como hay muchos tipos de residuos, también hay muchas formas de gestionarlos. Por ejemplo, hay al menos 50 tecnologías aplicadas comercialmente al tratamiento de residuos peligrosos. Las instalaciones para residuos pueden funcionar con tan sólo una tecnología o pueden combinar varias, en particular si se trata de instalaciones comerciales que atienden a varios productores de residuos.

Existen algunas diferencias entre una típica instalación comercial exterior para residuos y una instalación in situ habitualmente especializada en el tratamiento de algún tipo de residuo en particular. Estas diferencias se deben en parte al hecho de que las instalaciones exteriores aceptan residuos de fuera de la comunidad local, mientras que las instalaciones in situ gestionan solamente los residuos generados por lo que podría ser una importante actividad económica de larga duración de la comunidad. Desde una perspectiva técnica, las instalaciones exteriores normalmente tratan una amplia gama de tipos de residuos y normalmente son mayores y más complejas.

Por ejemplo, las instalaciones exteriores de residuos pueden dividirse en las siguientes categorías:

- instalaciones enfocadas principalmente a la valorización de materiales como productos aptos para su reventa (normalmente disolventes, aceites, ácidos o metales). Algunas usan el valor energético de los residuos;
- instalaciones enfocadas al cambio de las características físicas o químicas de los residuos o a la degradación o destrucción de los componentes de éstos mediante una amplia variedad de métodos físicos, químicos, térmicos o biológicos;
- instalaciones enfocadas al emplazamiento permanente de los residuos sobre o por debajo de la superficie del terreno. Dichas instalaciones no se incluyen en este documento.

Los siguientes puntos incluidos en este apartado abarcan información más específica sobre los tipos de instalaciones de residuos, clasificados por el tipo principal de tratamiento que se lleva a cabo. En este apartado no se incluyen todos los tipos de tratamientos que abarca este documento, posiblemente debido a que dichos tratamientos puedan ser considerados de bastante menor importancia.

1.2.1 Instalaciones para la transferencia de residuos

Las operaciones llevadas a cabo en estas instalaciones incluyen la recepción, agrupación, clasificación, transferencia pendiente, antes del envío para una operación de eliminación o valorización. En algunos casos, la combinación y mezcla también se puede llevar a cabo en de estas instalaciones. Las centrales de traslado de residuos pueden implicar operaciones individuales o pueden ser una parte integrante de un proceso de tratamiento. Normalmente en todos los sitios se realiza alguna clase de operación de agrupamiento para aglutinar los sólidos en los que se decantan líquidos de un contenedor a otro. La transferencia de líquido puede ser de una cisterna a un depósito de contención o a partir de fracciones de litro hasta un bidón de más de 200 litros. Las operaciones que normalmente se llevan a cabo son la inspección, muestreo, clasificación física y empaquetado, decantación, mezclado, vaciado de bidones, almacenamiento, recuperación de bidones y RIG y, en algunos casos, la eliminación de trapos de limpieza, solidificación y triturado de filtros de aceite. Las estaciones de transferencia de residuos se suelen clasificar en dos categorías de acuerdo con el objetivo de la instalación:

- **enfocadas a la producción de salida.** Estas corresponden a las instalaciones que actúan como alimentadores de otros procesos, por ejemplo, regeneración, incineración o tratamiento químico de disolventes. Estas instalaciones se dedican a producciones específicas de residuos que se pueden comprobar, analizar y agrupar con el fin de proporcionar una materia prima fija para un proceso asociado. También pueden incluir y procesar otros materiales diversos para poder ofrecer un servicio completo a sus clientes. Estos sitios tienden a gestionar una proporción mucho más alta de determinadas producciones de residuos y, por tanto, para ellos se asignan unos sistemas de aceptación, almacenamiento y control;
- **enfocadas a los residuos de entrada.** Estas instalaciones son estaciones de transferencia independientes y generalmente aceptan una gama completa de materiales procedentes de las áreas circundantes. Normalmente, también agrupan y combinan materiales para generar diversas producciones de residuos adecuados para su eliminación a través de diferentes procesos de tratamiento, valorización y eliminación, pero habitualmente no están enfocadas a ningún grupo de residuos específico. Puede haber una propensión hacia algunas producciones de residuos en concreto, pero probablemente se debe a los patrones locales de residuos que surgen y a las oportunidades comerciales, más que a la necesidad de proporcionar una materia prima para un proceso en cadena particular.

La mayor parte de operaciones vinculadas con la preparación de residuos se puede diferenciar en dos grupos:

- **reagrupamiento y reacondicionamiento.** Aquí el objetivo es agrupar residuos en cantidades pequeñas o medias, siempre que tengan la misma naturaleza y sean compatibles. En todo caso, todavía será necesario tratar los residuos resultantes. El propósito de reagrupar es obtener volúmenes mayores y más homogéneos para el tratamiento de los residuos con el fin de mejorar la seguridad (por ejemplo, facilitar la manipulación) y racionalizar los costes de logística. La combinación de los procesos empleados en la preparación de los residuos y en las operaciones de pretratamiento depende de las especificaciones del tratamiento final;
- **pretratamiento.** Aquí el objetivo es adaptar los residuos al tipo de valorización o eliminación del tratamiento final disponible. El pretratamiento abarca diversos aspectos. Se puede definir como aquellas operaciones que conducen a la homogenización de la composición química y/o las características físicas de los residuos. El pretratamiento produce un residuo, que puede ser muy diferente del residuo inicial, aunque no desde el punto de vista normativo. Estos residuos previamente tratados todavía deberán tratarse en una instalación de recuperación o eliminación. Al final del proceso de pretratamiento, los residuos tratados deberán cumplir con las especificaciones químicas y físicas que se han fijado para los usuarios finales.

Capítulo 1

Las actividades de agrupamiento y pretratamiento pueden estar localizadas en la misma instalación que el tratamiento final, en el lugar de la producción de residuos o en una instalación expresamente dedicada a ello. En todo caso, independientemente de la ubicación, los procesos de funcionamiento son los mismos.

A continuación, la tabla 1.1 muestra el número de instalaciones de transferencia de residuos y su capacidad en diferentes países europeos.

País	Número de instalaciones conocidas		Capacidad conocida (kt/año)	
	Peligrosas	No peligrosas	Peligrosas	No peligrosas
Bélgica	10			
Dinamarca	0		0	
Alemania	125			
Grecia	6			
España	68			
Francia			3000	
Irlanda	12			
Italia	0		0	
Luxemburgo	1			
Países Bajos	2			
Austria	16			
Portugal	5	143	3975 m ³	S
Finlandia	5	0 ¹	58	0
Reino Unido	439	2073		
Islanda	0		0	
Noruega	0		0	
TOTAL	689	2216		

¹ No existen instalaciones no peligrosas diferentes a las instalaciones en las que los residuos se descargan con el fin de permitir su preparación para un posterior tratamiento.
Nota: es posible que los números de esta tabla no reflejen el número de instalaciones o la capacidad reales. Las principales razones estriban en que el mercado es tan dinámico que los números cambian rápidamente o en que el GTT no ha facilitado ningún dato sobre determinados temas. Las celdas que no contienen números indican que no se ha proporcionado información.

Tabla 1.1: Instalaciones para la transferencia de residuos
[39, Milton, et al., 2000], [60, Azkona y Tsotsos, 2000], [61, Weibenbach, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

1.2.2 Instalaciones que contienen un tratamiento biológico de los residuos

Consulte el capítulo relativo al Ámbito de este documento para ver qué tratamientos biológicos de los residuos se incluyen. No obstante, obsérvese que los datos de la tabla 1.2, se refieren a todos los tratamientos biológicos, incluyendo los que no se incluyen en el Ámbito. La razón es que las estadísticas disponibles se refieren normalmente a datos nacionales y resulta difícil separar la información de sólo aquellas instalaciones incluidas en el ámbito de este documento.

País	Número de instalaciones conocidas		Capacidad conocida (kt/año)	
	Peligrosas	No peligrosas	Peligrosas	No peligrosas
Bélgica	5	Y		
Dinamarca	1	0		0
Alemania	57	200		
Grecia	0	Y	0	
España	3	Y	140	
Francia	0	Y	0	
Irlanda	1	Y		
Italia	74	3		180
Luxemburgo	0	Y	0	
Países Bajos	7	Y		
Austria	8	16 ¹	103	706 ¹
Portugal	1	9	88	514
Finlandia	20	41	98	305
Suecia		Y		
Reino Unido	0	173		
Islandia	0	0	0	0
Noruega	0	Y	0	
TOTAL	177	442	429	1705

Y: existe, pero no hay datos disponibles.
¹ Los datos corresponden solamente a TMB.
 Los datos de esta tabla corresponden a todos los tipos de tratamientos biológicos y no sólo a aquellos relacionados con los que se encuentran en el ámbito de este documento. Por tanto, el número de instalaciones incluidas en el documento será inferior a las cifras que aparecen en esta tabla.
 Nota: es posible que los números de esta tabla no reflejen el número de instalaciones o la capacidad reales. Las principales razones estriban en que el mercado es tan dinámico que los números cambian rápidamente o en que el GTT no ha facilitado ningún dato sobre determinados temas. Las celdas que no contienen números indican que no se ha proporcionado información.

Tabla 1.2: Instalaciones para el tratamiento biológico de residuos
 [39, Militon, et al., 2000], [60, Azkona y Tsotsos, 2000], [61, Weibenbach, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

En Finlandia hay 561 instalaciones para el tratamiento de aguas residuales en las que también se tratan los lodos del depósito séptico. Hay 41 instalaciones (aerobias 27 y anaerobias 14) para el tratamiento de residuos no peligrosos. Además, de las instalaciones para residuos no peligrosos mencionadas en la tabla 1.2, también hay 129 instalaciones de compostaje, con una capacidad total de 542 kt/año.

En algunos países (por ejemplo, Reino Unido e Italia), el tratamiento biológico se lleva a cabo principalmente mediante las compañías de aguas, empleando la capacidad existente en los servicios para el tratamiento de las aguas residuales. Se calcula que, en potencia, puede haber alrededor de 30 instalaciones. Los volúmenes de residuos tratados son pequeños, normalmente menos del 1 % de la entrada de los servicios de tratamiento de aguas residuales, pero en algunos casos esto representa una importante carga de DQO (en un caso, el 50 % de la entrada total de DQO en los servicios de tratamientos de aguas residuales). No obstante, este tipo de tratamiento plantea ciertas cuestiones, puesto que existe la posibilidad de que se diluyan contaminantes, así como de contaminar los lodos de las aguas residuales procedentes de esta clase de tratamiento.

1.2.3 Instalaciones para el tratamiento físico-químico de las aguas residuales

Este sector está representado por una amplia gama de procesos que están clasificados como «tratamientos químicos». Éstos van de los sistemas de mezcla sin interacciones químicas reales hasta instalaciones complejas con una gran variedad de opciones de tratamiento, algunas personalizadas para producciones específicas de residuos.

El proceso está diseñado para tratar aguas residuales (contaminadas con, por ejemplo, ácidos o álcalis, metales, sales, lodos, etc.), pero normalmente acepta también diversos materiales orgánicos como, por ejemplo, lavados y aclarados de instalaciones de proceso, residuos procedentes de la separación de aceite y agua, residuos de limpieza, residuos de interceptores, etc. Todos ellos podrían contener cualquier tipo de material industrial. Es probable que el proceso de tratamiento tenga algún efecto sobre los materiales orgánicos, por ejemplo, debido a una oxidación química de la DQO. Algunos componentes orgánicos podrían ser absorbidos o arrastrados en el lodo o, en el tratamiento de emulsiones, parte del contenido orgánico podría separarse de la fase acuosa.

Estos sistemas de tratamiento destruyen o eliminan la toxicidad de los componentes peligrosos disueltos o suspendidos en el agua. La selección y secuencia de los procesos unitarios se determinará por las características de los residuos entrantes y la calidad de efluente requerida. Un ejemplo de una instalación para el tratamiento físico-químico de aguas residuales contiene normalmente los siguientes procesos unitarios: destrucción de los cianuros, reducción del cromo, precipitación de metales en dos fases, ajuste del pH (por ejemplo, la neutralización), filtración de sólidos, tratamiento biológico, absorción del carbón, deshidratación de lodos, coagulación y floculación, así como algunos otros.

País	Número de instalaciones conocidas		Capacidad conocida (kt/año)	
	Peligrosas	No peligrosas	Peligrosas	No peligrosas
Bélgica	8	S		
Dinamarca	4	S		
Alemania	249	9000		
Grecia	0	0	0	0
España	49		901	
Francia	19	S	301	
Irlanda	4	S		
Italia	147	S		
Luxemburgo	1	0		0
Países Bajos	30	0		0
Austria	33	S	515	
Portugal	2	S	22.000 m ³	
Finlandia	36	0 ¹	144	0
Reino Unido	32	289		
Islandia	0	0	0	0
Noruega	4	S		
TOTAL	618	9289	1883	

S: existe, pero no hay datos disponibles.
¹ No hay instalaciones no peligrosas con sólo esta operación.
 Nota: es posible que los números de esta tabla no reflejen el número de instalaciones o la capacidad reales. Las principales razones estriban en que el mercado es tan dinámico que los números cambian rápidamente o en que el GTT no ha facilitado ningún dato sobre determinados temas. Las celdas que no contienen números indican que no se ha proporcionado información.

Tabla 1.3: Instalaciones para el tratamiento físico-químico de residuos [60, Azkona y Tsotsos, 2000], [61, Weibenbach, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

El tratamiento físico-químico (FQ) de aguas residuales divide normalmente los residuos en otro tipo de residuos (normalmente sólido) y en un efluente acuoso que no se suele considerar residuo al pertenecer a otra legislación.

Las instalaciones FQ resultan fundamentales para la pequeña y mediana empresa, incluyendo también a las empresas comerciales. Los residuos que deben tratarse mediante instalaciones FQ continuarán produciéndose en el futuro (en el curso de la misma producción); la aceptación obligatoria de los residuos por las instalaciones FQ ampliamente accesibles constituye una ventaja para el comercio y la industria, pues facilita la correcta eliminación de los residuos y alivia la carga económica que éstos les suponen.

Se pueden identificar las siguientes configuraciones principales:

- instalaciones FQ internas de la empresa. Éstas están especializadas en el tratamiento de los residuos producidos por una empresa;
- instalaciones FQ de acceso general (instalaciones de servicio). Éstas son las adecuadas para el tratamiento de residuos producidos en determinadas regiones.

1.2.4 Instalaciones para el tratamiento de cenizas de combustión y residuos de la limpieza de gases de combustión

Durante los procesos de combustión, se pueden generar residuos sólidos. A estos residuos sólidos normalmente se les llama «cenizas». Por lo general, son dos los tipos que hay presentes: unas llamadas «cenizas de fondo», normalmente recuperadas en el fondo de la cámara de combustión, y otras conocidas como «cenizas volantes», que son más pequeñas y fluyen con los humos de la combustión. Estas últimas se recuperan habitualmente con equipos para la limpieza de los gases de combustión. Dichos equipos no sólo se pueden aplicar a las cenizas volantes, sino que también se pueden usar para extraer los gases de combustión de otros contaminantes. Al hacerlo, se pueden generar diferentes tipos de residuos. Este apartado contiene aquellas instalaciones que tratan dicha diversidad de residuos generados durante los procesos de combustión, así como otros procesos de limpieza de los gases de combustión.

Los residuos de la limpieza de las cenizas de combustión y de los gases de combustión constituyen una de las principales producciones de residuos tratadas mediante los procesos de estabilización y solidificación, bien en instalaciones de combustión (por ejemplo, en algunas incineradoras) o en instalaciones para el tratamiento de residuos. Otros métodos son la vitrificación, purificación y reciclaje de algunos componentes (por ejemplo, sales). La fusión de las cenizas mediante plasma a temperaturas muy altas con el fin de vitrificar la estructura constituye otro método para el tratamiento de las cenizas de combustión. En Francia existe una instalación con una capacidad de tratamiento de 3,5 kt por año.

1.2.5 Instalaciones para el tratamiento de residuos contaminados con PCB

La incineración, cuando se encuentra disponible, es la tecnología más utilizada para la destrucción de los PCB. La destrucción completa de éstos por incineración sólo tiene lugar en condiciones bien definidas (por ejemplo, alta temperatura y un tiempo de residencia mayor). Sin embargo, debido a los costes de la incineración y su falta de disponibilidad en muchos países, a veces se usan otras tecnologías alternativas.

1.2.6 Instalaciones para el tratamiento de aceite usado

Los aceites usados de lubricantes se pueden recuperar con una calidad esencialmente igual a la de algunos grupos de aceites base empleados para producir aceites lubricantes (algunos de los grupos III y IV de aceites base raramente, si llega el caso, contienen aceites rerrefinados). Este proceso se conoce normalmente como «rerrefinado de aceites».

La recuperación de aceite procedente de residuos forma parte normalmente de la industria de los residuos. Hay instalaciones con licencia que están especializadas en la recuperación del aceite procedente de diferentes fuentes generadoras de residuos. Además, varias instalaciones de tratamiento químico y estaciones de transferencia tienen unidades para la separación de aceites que se encargan de una primera separación del aceite del agua antes de enviar la capa de aceite a una instalación especializada para su posterior procesamiento. Algunos de los factores que definen este sector son:

- las empresas que atienden a sectores industriales en particular tienden a ofrecer un servicio de residuos general para dicho sector, el cual puede incluir los aceites usados;
- las empresas que recogen aceites usados de lubricantes de talleres también es probable que recojan los filtros de aceite, los aceites de la dirección, freno y transmisión, los anticongelantes y las baterías;
- las empresas que manipulan aceites de transformadores es probable que recojan aceites con algunas pequeñas cantidades de PCB;
- algunas instalaciones de tratamiento químico y biológico se ocupan de operaciones de recuperación de aceite a pequeña escala como parte de sus procesos de pretratamiento. Normalmente se trata de sistemas sencillos para la separación por gravedad.

En la UE hay una gran cantidad de instalaciones específicas para el tratamiento y procesamiento de aceites. Algunas empresas llevan a cabo una simple purificación, que elimina el sedimento y el agua del aceite usado. Son dos los tipos de tratamiento que se aplican a los aceites usados. Uno se refiere a su uso como combustible y el otro corresponde a su rerrefinado para que se pueda volver a usar parte de él (normalmente entre el 50 % y el 60 %) como aceite base para lubricantes. Los procesadores de aceite muestran una amplia gama de conocimientos intrínsecos sobre sus operaciones.

Existe una gran variedad de procesos y otorgantes de licencias que actualmente ofrecen formas de tratar los aceites usados. En el tratamiento de los aceites usados se usan cuatro procesos principales: mezclado, tratamiento de separación química, destilación y craqueo.

En todos los procesos de tratamiento de aceite usado, los valores económicos y caloríficos de éste se recuperan en diferentes grados. Las dos técnicas principales usadas son el rerrefinado y la combustión directa (principalmente en fábricas de cemento), y cada una de ellas representa cerca del 30 % de la cantidad total recuperada. Los otros dos métodos, que juntos representan el otro tercio, son el reprocesado y la regeneración; éste último se usa, principalmente, para los aceites hidráulicos.

El nivel de conocimientos sobre aceites difiere notablemente entre las diferentes instalaciones. Esto se debe en parte al hecho de que el aceite usado es un material extremadamente complejo y cambiante con una enorme gama potencial de componentes individuales que, en la actualidad, no están clasificados en su totalidad.

Actualmente los datos disponibles con relación a la gestión del aceite usado (AU) en Europa son de muy escasa calidad, particularmente en lo que concierne a la regeneración. La figura 1.1 muestra un resumen de los porcentajes de los tipos de tratamientos usados para el aceite usado en cada uno de los países de la UE. De acuerdo con datos del sector de 1993, los aceites usados de lubricantes recogidos se eliminaron mediante combustión (32 %), por rerrefinado en aceites base (32 %), por reprocesado en combustible industrial (25 %) y por recuperación de

aceites industriales específicos (11 %). No obstante, estos porcentajes han cambiado considerablemente desde entonces, como se muestra en la siguiente figura.

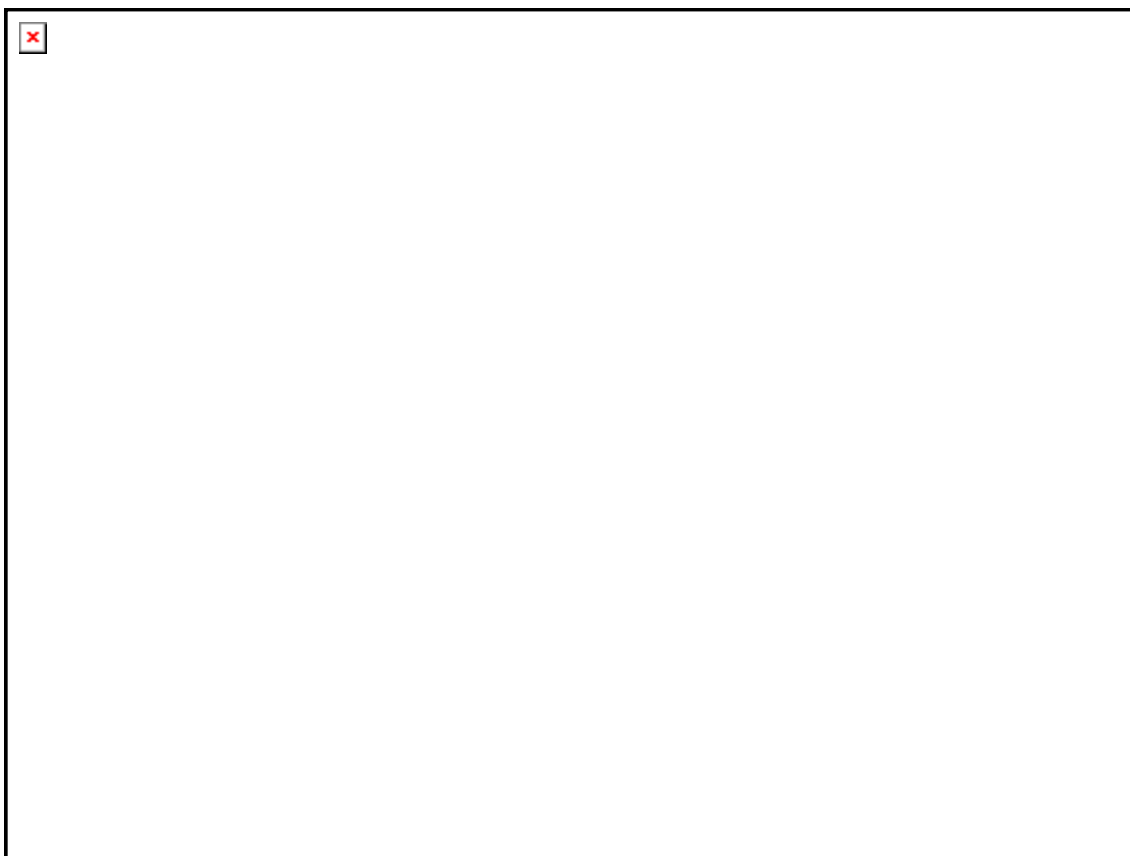


Figura 1.1: Gestión de los aceites usados en la UE en 1999
 [7, Monier y Labouze, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

Rerrefinado

En el año 2000 se produjeron unas 220 kt de aceite base rerrefinado de acuerdo con [7, Monier y Labouze, 2001], lo que supone menos del 5 % de la demanda global de aceite base en Europa.

En años recientes, el nivel de regeneración llevada a cabo ha disminuido notablemente en algunos países de la UE que fueron pioneros en su uso, como Francia, Alemania, Italia y otros como el Reino Unido. Esto se está viendo atenuado por el hecho de que existen algunos nuevos proyectos en varios países: Francia, Alemania, Italia y España.

La capacidad de alimentación instalada que se conoce para el rerrefinado de aceite base en toda Europa apenas supera las 500 kt/año, con unas capacidades de instalación que van de 35 a 160 kt/año. Actualmente hay unas 400 instalaciones para rerrefinado en todo el mundo, con una capacidad global de 1800 kt/año. Aunque la mayoría de estas instalaciones están ubicadas en el Este asiático (India, China y Pakistán), su capacidad individual es más bien baja, aproximadamente 2 kt/año cada una de media. La mayoría de estas instalaciones utiliza ácidos y arcillas y hay pocas que produzcan unos aceites base rerrefinados de buena calidad o que tengan en cuenta los problemas ambientales.

País	Número de instalaciones conocidas	Capacidad conocida (kt/año)
Bélgica	2	45
Dinamarca	1	40
Alemania	8	770
Grecia	1	40
España	2	69
Francia	2	200
Irlanda	0	0
Italia	7 ¹	273 ¹
Luxemburgo	0	0
Malta	2	2,4
Países Bajos	0	0
Austria	0	0
Polonia	1	80
Portugal	0	0
Finlandia	5	88
Suecia	0	0
Reino Unido	3 ²	5 ²
Yugoslavia	1	
TOTAL	35	1612,4

¹ Dos instalaciones no están funcionando actualmente. La capacidad de las dos instalaciones que no funcionan es de 25 kt/año.

² Un miembro del GTT cuestionó dichas cifras como incorrectas.

Nota: es posible que los números de esta tabla no reflejen el número de instalaciones o la capacidad reales. Las principales razones estriban en que el mercado es tan dinámico que los números cambian rápidamente o en que el GTT no ha facilitado ningún dato sobre determinados temas. Las celdas que no contienen números indican que no se ha proporcionado información.

Tabla 1.4: Instalaciones para el rerrefinado de aceite usado en los países europeos [5, Concawe, 1996], [7, Monier y Labouze, 2001], [13, Marshall, et al., 1999], [36, Viscolube, 2002], [86, GTT, 2003], [128, Ribí, 2003], [150, GTT, 2004]

Las instalaciones de rerrefinado pueden ajustar la cantidad de aceite base rerrefinado y los combustibles producidos conforme a la situación internacional y local (precios del crudo, demanda de mercado, subsidios, etc.).

Preparación de aceites usados para usar principalmente como combustible

Aproximadamente el 50 % de los aceites usados (es decir, el aceite procedente de la limpieza de barcos y depósitos, el procedente de separadores de aceite y agua, de emulsiones, etc.) no es aceite usado de lubricante o no se puede regenerar en aceite base. Estos aceites usados se pueden convertir en otros productos derivados (por ejemplo, combustible).

En 1999 se usaron como combustible en Europa aproximadamente el 50 % de los aceites usados. En el ámbito de Europa se quemaron en hornos de cemento unas 400 kt, lo que representa aproximadamente el 17 % del aceite usado total y el 35 % del quemado, con una proporción que varía considerablemente entre los diferentes países. Esto representa la mayor vía de explotación en Francia, Grecia y Suecia, pero solamente una de entre varias vías alternativas en Austria, Bélgica, Italia y el Reino Unido. Otros de los sectores de la UE que utilizan el aceite usado como combustible son:

- altos hornos, como sustituto del coque (por ejemplo, Bélgica),
- hornos de cocer ladrillos (por ejemplo, España),
- hornos para cerámica (por ejemplo, España),
- grandes instalaciones de combustión (por ejemplo, España),
- hornos de cal (por ejemplo, España y Bélgica),
- instalaciones de craqueo, para producir nuevos combustibles (por ejemplo, en Bélgica conforme a la normativa legal),

- instalaciones portuarias de recepción que convierten el aceite usado en combustible para barcos (por ejemplo, Malta),
- incineradoras de residuos (por ejemplo, 2 kt en 2002 en las incineradoras de residuos peligrosos de Bélgica),
- calentadores para espacios grandes (por ejemplo, estaciones de servicio, invernaderos, etc.),
- plantas de asfaltos.

Las dos últimas aplicaciones ya no se usan en Flandes (Bélgica) debido a las regulaciones ambientales más estrictas que entraron en vigor en enero de 1999. La tabla 1.5 indica la cantidad de aceite usado de lubricante quemado en algunos países de la UE.

Opciones de combustión	Cantidad de aceite usado (kt)	%
Hornos de cemento	307	42
Mezclado con fuelóleo	213	29
Otros	120	16
Incineradoras de residuos	52	7
Calentadores de estaciones de servicio	40	6
Total quemado	732	100
Los datos corresponden solamente a Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Italia, Países Bajos, Noruega, España y Reino Unido. Nota: la obtención de un conjunto completo de datos sobre los volúmenes de aceite usado de lubricante quemado en todos los países de la UE de este estudio resulta difícil puesto que los datos de las opciones de combustión no están registrados de forma sistemática.		

Tabla 1.5: Volúmenes de aceite usado de lubricante quemado en la UE por año [5, Concawe, 1996]

También hay un importante volumen de aguas contaminadas con aceite recogidas para su valorización. Estos residuos tienen un valor neto negativo, pero se procesan para maximizar la valorización del hidrocarburo para uso como combustible. La tabla 1.6 muestra algunas de las instalaciones que llevan a cabo esta actividad.

País	Número de instalaciones conocidas			Capacidad conocida (kt/año)		
	Que usan aceite usado en combustión directa	Que usan aceite usado reprocesado como combustible	No peligrosas	Que usan aceite usado en combustión directa	Que usan aceite usado reprocesado como combustible	No peligrosas
Bélgica	1	10				
Dinamarca	4	S				
Alemania	12	1		310	100	
Grecia	0					
España	4	S	1			
Francia	60			725		
Irlanda		S				
Italia	2					
Luxemburgo	0	0		0	0	
Malta	0	1		0	4,7	
Países Bajos		S				
Austria	4	0	0		0	0
Portugal	S	S	1			
Finlandia	3	4	1	155	54,5	0,2
Suecia	2	3				
Reino Unido	160	S				
TOTAL	252	19	3	1190	159,2	0,2

S: existe, pero no hay datos disponibles.

Nota: las columnas relativas a aceite no peligroso corresponden a la producción de biodiésel a partir de aceite vegetal.

Nota: es posible que los números de esta tabla no reflejen el número de instalaciones o la capacidad reales. Las principales razones estriban en que el mercado es tan dinámico que los números cambian rápidamente o en que el GTT no ha facilitado ningún dato sobre determinados temas. Las celdas que no contienen números indican que no se ha proporcionado información.

Tabla 1.6: Instalaciones en las que los aceites usados se usan como combustible o en las que se reprocesan para producir un combustible
[7, Monier y Labouze, 2001], [13, Marshall, et al., 1999], [56, Babtie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [128, Ribí, 2003], [150, GTT, 2004]

Con la legislación de la UE, no es legal desechar los aceites usados en vertederos o en sumideros de aguas pluviales o aguas residuales. En algunos casos, el aceite usado de lubricante se aplica como supresor de polvo para carreteras sin pavimentar de áreas rurales. Aproximadamente el 25 % del aceite usado de la UE quedó sin eliminar en 1999.

1.2.7 Instalaciones para el tratamiento de disolventes residuales

Los disolventes se usan ampliamente en los procesos químicos y biológicos. Durante estos procesos, se producen disolventes residuales y se reciclan internamente. Estos tratamientos son una parte integrante de los procesos químicos y biológicos y se incluyen en diferentes documentos BREF. No obstante, por razones económicas o técnicas, algunas veces los disolventes residuales se entregan a terceras partes para su tratamiento (por ejemplo, gestores de residuos). En algunos casos, el producto del tratamiento se devuelve al productor del residuo y en otros no.

Los disolventes residuales también se producen en el área de los tratamientos de superficies basados en disolventes (como la limpieza o el desengrasado de muchos sectores industriales diferentes y las instalaciones de limpieza en seco). En la mayoría de casos, los disolventes contaminados o el fondo de las columnas de destilación (contenido de disolvente del 1 % al 10 % en el caso de instalaciones o equipos de limpieza cerrados con dispositivos de destilación interna) se envían a instalaciones de destilación de disolventes y se regeneran. La calidad de los productos de la destilación es tan buena como la de los nuevos disolventes.

De acuerdo con la Directiva marco relativa a los residuos, la primera opción para los disolventes residuales, así como para el resto de residuos, es el reciclaje. Esto ha contribuido a crear un activo mercado de reciclaje de disolventes. De forma similar a los aceites usados, los disolventes residuales que no son apropiados para la regeneración debido a determinadas composiciones; o por tener una pureza muy baja, también se pueden recuperar como combustible líquido secundario (CLS). Una diferencia fundamental con los aceites residuales es que las calidades de los disolventes residuales fluctúan mucho más que las del aceite residual.

Las instalaciones para la regeneración de disolventes separan los contaminantes de los disolventes residuales y, por tanto, restauran el disolvente a su calidad original o a un producto de grado más bajo (por ejemplo, en el caso de los diluyentes de lacas). La mayoría de procesadores de disolventes comerciales usan la destilación (por lotes, continua o por vapor) y normalmente recuperan alrededor del 75 % del disolvente residual. El residuo, conocido como «fondos de destilación», puede ser un líquido o un lodo, dependiendo de varias condiciones, y normalmente precisa una gestión como residuo peligroso. Otras tecnologías de separación usadas por los procesadores de disolventes incluyen la filtración, evaporación simple, centrifugación y extracción con aire.

País	Número de instalaciones conocidas	Capacidad conocida (kt/año)
Bélgica	5	>8
Dinamarca	0	
Alemania	21	
Grecia	3	
España	14	64
Francia	27	90,7
Irlanda	2	
Italia	2	
Luxemburgo	0	
Países Bajos	8	
Austria	2	
Portugal	1	10.000 m ³
Finlandia	4	11
Reino Unido	8	>12
Islandia	0	
Noruega	11	
TOTAL	108	185,7
Nota: es posible que los números de esta tabla no reflejen el número de instalaciones o la capacidad reales. Las principales razones estriban en que el mercado es tan dinámico que los números cambian rápidamente o en que el GTT no ha facilitado ningún dato sobre determinados temas. Las celdas que no contienen números indican que no se ha proporcionado información.		

Tabla 1.7: Instalaciones para disolventes residuales en países europeos [40, Militon y Becaud, 1998], [60, Azkona y Tsotsos, 2000], [61, Weibenbach, 2001], [86, GTT, 2003], [129, Cruz-Gomez, 2002]

1.2.8 Instalaciones para el tratamiento de catalizadores residuales, residuos procedentes de la reducción de la contaminación y otros residuos inorgánicos

El tratamiento de catalizadores residuales depende del tipo de catalizador (sustancia activa catalítica y estructura o soporte de apoyo), así como de los subproductos procedentes del proceso catalítico. Estos tratamientos incluyen la regeneración de catalizadores para reutilizarlos de nuevo como tales, el reciclaje de sus componentes y su eliminación en vertederos. Un ejemplo puede ser una instalación austríaca para la recuperación del Ni de los catalizadores de la industria alimentaria (aleación de Fe y Ni).

La tecnología hidrometalúrgica se puede usar para extraer y concentrar metales de residuos líquidos. Los residuos que no son líquidos primero necesitan disolución.

En Malta hay dos emplazamientos subterráneos para el almacenamiento de amianto y uno de superficie pendientes de tratamiento. El amianto procede de los barcos que se reparan en los astilleros y de tuberías de amianto que no se usan.

País	Tratamiento de catalizadores residuales		Tratamiento de otros residuos inorgánicos (sin incluir metales y compuestos metálicos)		Recuperación de residuos procedentes de la reducción de la contaminación	
	Número de instalaciones conocidas	Capacidad conocida (kt/año)	Número de instalaciones conocidas	Capacidad conocida (kt/año)	Número de instalaciones conocidas	Capacidad conocida (kt/año)
Bélgica	0	0	13		1	
Dinamarca	0	0	3		1	
Alemania	1		63		2	
Grecia	5		0	0	0	0
España	0	0	6	195	15	3
Francia	3	4,9	0	0	0	0
Irlanda	4		0	0	0	0
Luxemburgo	0	0	0	0	0	0
Malta			3			
Países Bajos	2		17		1	
Austria	3		14		0	0
Portugal	0	0	0	0	0	0
Finlandia ¹	0	0	9	3	0	0
Islandia	0	0	0	0	0	0
Noruega	2		1		0	0
TOTAL	20	4,9	129	198	20	3

¹ No se incluye el tratamiento de 1 millón de lámparas que contienen mercurio.

Nota: es posible que los números de esta tabla no reflejen el número de instalaciones o la capacidad reales. Las principales razones estriban en que el mercado es tan dinámico que los números cambian rápidamente o en que el GTT no ha facilitado ningún dato sobre determinados temas. Las celdas que no contienen números indican que no se ha proporcionado información.

Tabla 1.8: Instalaciones para el tratamiento de catalizadores residuales, residuos procedentes de la reducción de la contaminación y otros residuos inorgánicos en los países europeos [40, Militon y Becaud, 1998], [60, Azkona y Tsotsos, 2000], [61, Weibenbach, 2001], [150, GTT, 2004]

1.2.9 Instalaciones para el tratamiento del carbón activo y las resinas

La mayor parte del carbón activo y las resinas residuales es fruto de procesos de purificación del agua. Es muy difícil calcular el total de regeneración que se realiza en Europa, principalmente debido al hecho de que muchos operadores regeneran su propio adsorbente (a menudo de forma esporádica) en lugar de enviarlo a grandes instalaciones de reactivación centralizadas.

El carbón activo se usa en tres aplicaciones principales: el tratamiento de agua potable; la industria de la alimentación, por ejemplo, para la eliminación del color en el refinado del azúcar; y en aplicaciones industriales de carácter general, como, por ejemplo, la eliminación de los COV procedentes de las corrientes de ventilación de procesos. Estas aplicaciones afectan al tipo de contaminación del carbón y al proceso de regeneración que se precisa después. Por ejemplo, el carbón que se ha usado en aplicaciones industriales («carbones industriales»), como en el tratamiento de efluentes, requiere un sistema de reducción de la contaminación más estricto que el usado para el tratamiento de agua potable o el procedente de la industria alimentaria.

En algún punto de la vida útil del proceso, el carbón se agotará con el material que está adsorbiendo. En ese momento el carbón deberá regenerarse o, si no es posible, eliminarse. La elección a tomar quedará determinada, naturalmente, por los factores económicos y la escala. En el tratamiento de agua potable, el carbón se usa en grandes cantidades y se guarda en grandes lechos descubiertos recubiertos de hormigón. Éstos tienen una expectativa de vida antes de su agotamiento de unos pocos años. Cuando se regeneran, producen grandes cantidades que deben ser tratadas. Es la aplicación más común en el Reino Unido en términos de volumen y se regenera bien in situ mediante una instalación incorporada con este fin o se transporta fuera para su regeneración por operadores comerciales. Debido a la naturaleza del mercado, hay una tendencia a que cada vez más instalaciones de regeneración, una vez diseñadas puramente para materiales «internos», ofrezcan ahora un servicio comercial de regeneración.

Existen al menos 19 instalaciones en Europa que regeneran carbones activos externamente. En la tabla 1.7 se muestran las cifras estimadas.

País	Número de instalaciones conocidas	Capacidad conocida (kt/año)
Bélgica	2	
Alemania	3	
Francia	1	
Italia	5	
Países Bajos	1	
Austria	1	
Finlandia	1	
Suecia	1	
Reino Unido	4	
TOTAL	19	>50

Nota: es posible que los números de esta tabla no reflejen el número de instalaciones o la capacidad reales. Las principales razones estriban en que el mercado es tan dinámico que los números cambian rápidamente o en que el GTT no ha facilitado ningún dato sobre determinados temas. Las celdas que no contienen números indican que no se ha proporcionado información.

Tabla 1.9: Instalaciones de carbón activo en los países europeos [150, GTT, 2004]

Los hornos de reactivación más comunes son los hornos rotatorios de alimentación directa y los hornos de solera múltiple. A veces se usan hornos rotatorios de alimentación indirecta, lecho fluidizado, de tipo tubo vertical e infrarrojos. En la tabla 1.10 se muestra el tipo de hornos de reactivación de carbón activo granular (CAG) en uso en todo el mundo desde principios de 1990.

Tipo de horno de reactivación de CAG	Número de unidades
Solera múltiple	>100
Lecho fluidizado	<20
Horno rotatorio de alimentación indirecta	>50
Horno rotatorio de alimentación directa	<30
Tipo tubo vertical	<30
Hornos de infrarrojos (horizontal y vertical)	<9

Tabla 1.10: Tipos de hornos de reactivación CAG en uso en todo el mundo [42, R.U., 1995]

No se dispone de cifras cuantitativas de las instalaciones de regeneración de resinas de intercambio de iones.

1.2.10 Instalaciones para el tratamiento de ácidos y bases residuales

En la UE hay varias instalaciones que regeneran HCl. No se han identificado instalaciones para recuperar HBr. El ácido sulfúrico residual se puede regenerar de las siguientes formas:

- descomposición térmica del ácido residual, gastado o recuperado, cuyo resultado se usa después como fuente principal o complementaria de alimentación de SO₂ para los procesos de contacto con ácido sulfúrico. Esto se incluye en el BREF LVIC-AAF [62, EIPPCB, 2003], como en cualquier proceso que produzca SO₂ como materia prima por descomposición o calcinación;
- proceso basado en la reconcentración de ácido sulfúrico débil, gastado o residual, con o sin separación de impurezas potenciales (por ejemplo, sales). Esto se incluirá en el presente documento;
- procesos industriales que usan ácido sulfúrico e incluyen el reciclaje de éste usado como parte integrante del proceso. Esto se incluirá en el BREF en el que se cubre el proceso industrial (por ejemplo, BREF LVIC: sólidos y otros elementos para la producción de dióxido de titanio).

País	Número de instalaciones conocidas	Capacidad conocida (kt/año)
Bélgica	1	
Dinamarca	1	
Alemania	2	
Grecia	0	
España	1	42
Francia	3	2
Irlanda	1	
Luxemburgo	0	
Países Bajos	0	
Austria	4	
Portugal	0	
Finlandia	0	
Islandia	0	
Noruega	0	
TOTAL	13	44

Los valores corresponden a las instalaciones de regeneración incluidas en este documento y el BREF LVIC-AAF.
 Nota: es posible que los números de esta tabla no reflejen el número de instalaciones o la capacidad reales. Las principales razones estriban en que el mercado es tan dinámico que los números cambian rápidamente o en que el GTT no ha facilitado ningún dato sobre determinados temas. Las celdas que no contienen números indican que no se ha proporcionado información.

Tabla 1.11: Instalaciones para la regeneración de ácidos y bases residuales [40, Militon y Becaud, 1998], [60, Azkona y Tsotsos, 2000], [61, Weibenbach, 2001], [86, GTT, 2003]

La recuperación de ácidos implica normalmente la separación de los ácidos sin reaccionar de un residuo de ácido, como puede ser el líquido decapante gastado generado por la industria del acero. Uno de los métodos usados por esta industria consiste en enfriar el ácido sulfúrico para precipitar los compuestos ferrosos. Con otro método, el ácido se puede regenerar inyectándolo en un horno de tostación con rociado.

1.2.11 Instalaciones para el tratamiento de madera contaminada

En algunos casos, la madera contaminada se incinera directamente. En otros, la madera se trata térmicamente mediante carbonización o pirolisis. Todos estos tratamientos se encuentran en el BREF sobre IR. Sin embargo, en algunos casos, los tratamientos se usan enfocados en la extracción de metales pesados procedentes de residuos sólidos generados por la carbonización

de madera contaminada. En el presente documento se incluyen estos procesos. En Francia existe una instalación en funcionamiento.

1.2.12 Instalaciones para el tratamiento de materiales cerámicos refractarios contaminados

En Francia existen dos instalaciones en funcionamiento con una capacidad de tratamiento total de 50 kt por año.

1.2.13 Instalaciones para la preparación de residuos que serán utilizados como combustible

Actualmente hay varios factores que impulsan el concepto de uso de los residuos como combustible en procesos de combustión:

- la Directiva marco relativa a los residuos y sus enmiendas establecen una jerarquía para su gestión. Ésta muestra una clara preferencia por el reciclaje y la valorización (incluyendo el uso de los residuos como fuente de energía);
- las regulaciones del sector de residuos, como las Directivas relativas al empaquetado de los residuos, los vehículos al final de su vida útil, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos la incineración de residuos, la clasificación de residuos, sustancias peligrosas y su preparación, también pueden influir en preferencia de esta opción;
- la Directiva sobre vertederos prohíbe el vertido de residuos con un contenido alto en materiales biodegradables. Por tanto, existe la necesidad de establecer formas alternativas para el tratamiento de las respectivas fracciones de residuos. La coincineración es una opción entre otras (por ejemplo, incineración, tratamiento mecánico-biológico);
- según los requisitos del protocolo de Kioto, es necesario reducir las emisiones de gases con efecto invernadero en todo el mundo. La coincineración de fracciones de residuos como sustituto para los combustibles convencionales puede ser una opción para reducir este tipo de emisiones;
- la liberalización de los mercados energéticos intensifica la presión económica sobre los productores y consumidores de energía. La cocombustión de residuos abre un nuevo ámbito de negocio para ellos, lo que hace el funcionamiento de las instalaciones para la combustión más atractivo económicamente;
- para reducir el coste del combustible usado en los procesos de combustión.

En este documento, el término «combustible residual» se usa para todos los tipos de materiales residuales que se preparan para usarse como combustible en cualquier proceso de combustión. Los combustibles residuales pueden ser gaseosos, líquidos o sólidos. Por ejemplo, los combustibles residuales líquidos se pueden preparar a partir de aceites residuales, disolventes y fondos de destilación. La forma en que se va a usar el combustible residual líquido en el proceso de combustión influye en la forma en que se debe preparar. Por ejemplo, algunos combustibles residuales líquidos se pueden preparar combinando diferentes residuos que tengan unos poderes caloríficos altos y alimentarlos independientemente en la cámara de combustión o se pueden mezclar o combinar con combustibles convencionales (por ejemplo, aceites residuales o fuelóleos). Algunos residuos líquidos, como, por ejemplo, los aceites, necesitan de un pretratamiento para eliminar los fondos, sedimentos y el agua. Esto se puede lograr mediante la separación y la deshidratación.

Algunos procesos de combustión que pueden usar residuos como (parte) del combustible son las instalaciones de combustión para la producción de calor o energía, motores navales, hornos de cemento, altos hornos para la producción de hierro y acero, hornos para cocer ladrillos en la producción de cerámica, hornos de cal y la producción de asfalto. El tipo de horno o caldera usado, las condiciones de combustión (por ejemplo, la temperatura) en las que deberá funcionar

el proceso, el impacto en las emisiones o productos y el tipo de combustible ya en uso tienen una fuerte influencia en el tipo de residuos que pueden resultar aceptables y en la forma de preparar el combustible.

La finalidad de dichas instalaciones es garantizar los siguientes aspectos:

- optimizar la valoración de determinados residuos, y evitar así su vertido;
- la calidad de la destrucción térmica;
- proporcionar las propiedades físico-químicas necesarias del combustible residual para el usuario final.

Los principios básicos de la producción de combustible residual son los siguientes:

- la calidad química y física del combustible cumplirá con las especificaciones o normas que aseguren la protección ambiental, la del proceso del horno o el hogar y la calidad del material producido, en la que el proceso de combustión en que se usa el combustible residual produce un producto (por ejemplo, cemento);
- los contenidos energéticos y de mineral deberán permanecer estables para permitir la óptima alimentación del horno o el hogar;
- la forma física deberá permitir una manipulación, almacenamiento y alimentación seguros y adecuados.

País	Número de instalaciones conocidas		Capacidad conocida (kt/año)	
	Peligrosas	No peligrosas	Peligrosas	No peligrosas
Bélgica	12	S		
Dinamarca	4	13		
Alemania	16	34		
Grecia	0	0		
España	33	5	204	
Francia	54	S	542	1400
Irlanda	2	S		
Italia		27		2080
Luxemburgo	0	S		
Países Bajos	1	S		
Austria	8	10		
Portugal	0	S		165
Finlandia	7	37	106	800
Suecia	S	S		
Reino Unido	S	S		
Islandia	1	S		
Noruega	2	S		
TOTAL	140	126	852	4445

S: existe, pero no hay datos disponibles.
Nota: es posible que los números de esta tabla no reflejen el número de instalaciones o la capacidad reales. Las principales razones estriban en que el mercado es tan dinámico que los números cambian rápidamente o en que el GTT no ha facilitado ningún dato sobre determinados temas. Las celdas que no contienen números indican que no se ha proporcionado información.

Tabla 1.12: Instalaciones para la preparación de residuos que serán utilizados como combustible [39, Militon, et al., 2000], [40, Militon y Becaud, 1998], [60, Azkona y Tsotsos, 2000], [61, Weibenbach, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

Preparación de residuos sólidos municipales que serán utilizados como combustible

La actual estimación de la cantidad de combustibles sólidos recuperados producidos y consumidos en Europa es de unas 1,4 Mt/año, como se indica a continuación.

País	Productores	Producción		Consumo		- Exportación / Importación +		HC
		(kt/año)	tep/año	(kt/año)	(kt/año)	tep/año	(kt/año)	%
Bélgica	7	<100	<50.000	<100	<50.000	n.d.	n.d.	(100)
Dinamarca	1	0	0	0	0			
Alemania	19	500 (650)	250.000 (325.000)	500 (650)	250.000 (325.000)	n.d.	n.d.	85
Grecia		0	0	0	0			
España		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.			
Francia	3	0	0	0	0			
Irlanda		<200 (250)	<100.000 (125.000)	<200 (250)	<100.000 (125.000)	n.d.	n.d.	
Italia	25	0	0	0	0			
Luxemburgo	23	0	0	0	0			
Países Bajos		250 (350)	100.000	15	6000	-145	60.000	20
Austria	26 ³	160	50.000	100	50.000			7
Portugal	8	0	0	0	0			
Finlandia	10	170	58.000	170	58.000	n.d.	n.d.	0
Suecia	4					+500 ²		
Reino Unido		60 (100)	30.000 (50.000)	60 (100)	30.000 (50.000)	n.d.	n.d.	
Islandia		0	0	0	0			
Noruega	29							
TOTAL	155	1380						

tep/año = toneladas equivalentes de petróleo por año (se asume que el combustible sólido recuperado tiene un poder calorífico de 21 MJ/kg, aunque es más bajo en Finlandia y Países Bajos, y que el petróleo tiene un poder calorífico de 42 MJ/kg).

HC = % de consumo que tiene lugar en hornos de cemento

Las cifras de esta tabla son solamente indicativas al no corresponder con la misma definición armonizada empleada en toda la Unión Europea.

¹ No hay estadísticas globales para Suecia y Noruega puesto que este combustible se usa en las centrales térmicas y eléctricas ordinarias, así como en las incineradoras de residuos, sin una demanda de especificaciones detalladas. Los datos de Suecia (2001) son: instalaciones incineradoras de residuos para calefacción urbana 856 000 t/año y centrales eléctricas para el mismo fin 445 000 t/año.

² No hay cifras exactas, pero las más aproximadas arrojan 500 kt de residuos importados en 1999. El 90 por ciento está formado por madera, papel, plástico y caucho.

³ Un miembro del GTT cree que este valor es demasiado alto, pero no ha ofrecido un valor alternativo.

Tabla 1.13: Resumen del mercado europeo de combustibles sólidos recuperados en el año 2000 [21, Langenkamp y Nieman, 2001], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

El cálculo más aproximado de la producción de combustible sólido recuperado de la industria en 2005 es de unos 11 Mt/año (tabla 1.14)

País	Producción		Consumo		- Exportación / Importación +		Δ 2000
	(kt/año)	tep/año	(kt/año)	tep/año	(kt/año)	tep/año	%
Bélgica	100	50.000	100	50.000	n.d.	n.d.	0
Dinamarca	0		0				
Alemania	3000	1.500.000	4000	2.000.000	+1000	+50.0000	
Grecia	500	250.000	500	250.000	n.d.	n.d.	
España	1000	500.000	1000	500.000	n.d.	n.d.	
Francia	1000	500.000	0	0	-1000	-500.000	
Irlanda	500	250.000	500	250.000	n.d.	n.d.	
Italia	1000	500.000	1000	500.000	n.d.	n.d.	
Luxemburgo	50	25.000	50	25.000	n.d.	n.d.	
Países Bajos	1000	400.000	600	240.000	-400	-160.000	
Austria	500	250.000	500	250.000	n.d.	n.d.	400
Portugal	500	250.000	500	250.000	n.d.	n.d.	
Finlandia	350	120.000	350	120.000	n.d.	n.d.	100
Suecia	500	250.000	1000	4.500.000	+500	+200.000	
Reino Unido	600	300.000	600	300.000	n.d.	n.d.	
Suiza	0	0	0	0			
Islandia	0		0				
Noruega	150	75.000	150	75.000	n.d.	n.d.	
Total	10.750	5.220.000					

Notas: tep/año = toneladas equivalentes de petróleo por año (se asume que el combustible sólido recuperado tiene un poder calorífico de 21 MJ/kg, aunque es más bajo en Finlandia y Países Bajos, y que el petróleo tiene un poder calorífico de 42 MJ/kg).

Δ 2000 = Diferencia desde el año 2000

Se asume que no se exporta combustible sólido recuperado (CSR) fuera de la Unión Europea.

Las cifras de esta tabla son solamente indicativas al no corresponder con la misma definición armonizada empleada por la Comisión Europea.

Nota: es posible que los números de esta tabla no reflejen el número de instalaciones o la capacidad reales. Las principales razones estriban en que el mercado es tan dinámico que los números cambian rápidamente o en que el GTT no ha facilitado ningún dato sobre determinados temas. Las celdas que no contienen números indican que no se ha proporcionado información.

Tabla 1.14: Previsión del mercado europeo de combustibles sólidos recuperados en 2005 [126, Pretz, et al., 2003]

El consumo de hulla y lignito para la producción de energía en la UE fue de 145 Mtep/año en 1999 (Resumen anual de energía de 1999 de la Comisión Europea). Usando esta cifra, se puede calcular que la producción total de combustible sólido recuperado a modo de previsión en la tabla 1.14 para el año 2005 (es decir, más de 5 Mtep/año) representa un índice de sustitución del 3,5 %.

Preparación del combustible residual a partir de residuos peligrosos

El uso de residuos peligrosos como combustible comenzó a mediados de los setenta, cuando la crisis del petróleo aumentó espectacularmente el coste del fuelóleo y también cuando, en diferentes países, se promulgaron nuevas normativas relacionadas con la eliminación de residuos. Conforme se iban haciendo disponibles grandes cantidades de residuos ricos energéticamente (principalmente disolventes), el coprocesado de éstos en hornos de cemento se presentó como una respuesta obvia para la situación del momento tanto en términos económicos como ambientales. Más tarde, con el fin de aumentar el ahorro energético, se desarrollaron procesos de pretratamiento más y más sofisticados, primero para producir combustibles residuales líquidos y más recientemente, es decir, en los noventa, para producir combustibles residuales sólidos.

Algunas empresas de la UE facilitaron datos estimados que se muestran en la tabla 1.15. Estos datos se basan en la situación del mercado en la UE-15.

Preparación del combustible residual a partir de residuos peligrosos	Número de instalaciones	Producción 2001 (kt/año)
Combustibles residuales líquidos a partir de líquidos orgánicos	107	650
Combustibles residuales líquidos a partir de la fluidificación	7	108
Combustibles residuales líquidos a partir de emulsiones	3	48
Combustibles residuales líquidos	117	806
Combustibles residuales sólidos	26	465
Total	143	1271
<p>Nota: los datos corresponden a cálculos establecidos en diciembre de 2002. Combustibles residuales líquidos (excluyendo aceites) Los datos se han establecido para instalaciones de reagrupamiento y pretratamiento de Francia, Bélgica, Países Bajos, Alemania, Italia, Suiza, España, Portugal, Irlanda, Reino Unido, Suecia, Noruega, República checa y Eslovaquia. El tamaño y la capacidad de las instalaciones de pretratamiento de combustibles residuales líquidos varía ampliamente, de 5000 a 100.000 toneladas/año. Para las instalaciones de reagrupamiento, el tamaño normal de una instalación varía de 1000 a 20.000 toneladas/año. Combustibles residuales sólidos. Los datos se han establecido para la producción de instalaciones de pretratamiento de Francia, Bélgica, Países Bajos, Alemania, Italia, Suiza, España, Portugal, Irlanda, Reino Unido, Suecia, Noruega y Eslovaquia. La capacidad media de las instalaciones de pretratamiento de combustibles residuales sólidos es de 18.000 toneladas/año, con márgenes que varían de 2000 a 70.000 toneladas/año.</p>		

Tabla 1.15: Producción y número de instalaciones para la preparación de combustible residual principalmente a partir de residuos peligrosos en la UE-15 [122, Eucopro, 2003], [150, GTT, 2004]

1.3 Aspectos económicos e institucionales del sector del tratamiento de residuos

El tratamiento de residuos es normalmente un proceso de grandes volúmenes con poco rendimiento. Los precios fijos o bajos, tanto de los residuos entrantes como del producto reciclado, han puesto el énfasis comercial en maximizar la producción y reducir los costes generales fijos.

Normalmente, el coste y el precio del tratamiento de residuos se establecen según las inversiones y los costes de mantenimiento. No obstante, en algunos casos, los operadores pueden determinar los precios en el nivel «bajo» del mercado. En otros, los precios se fijan por acuerdo entre el productor de los residuos y el gestor, cuando éstos pueden ser diferentes para un residuo en particular dependiendo de quién lo ha producido. Aunque hay excepciones, particularmente en el caso de las instalaciones más antiguas, los niveles de inversión han sido bajos debido a los escasos rendimientos y la competencia de los precios inferiores de los vertederos. Se espera que se requieran unos niveles altos de inversión para cumplir con las normas establecidas por el actual régimen normativo.

Generalmente, la industria ha maximizado el uso constructivo de algunos tipos de residuos para tratar otros, lo que se espera continúe, en particular usando residuos como materia prima.

Existe competencia entre empresas regionales, nacionales e internacionales. Un ejemplo es la recogida de aceites residuales, en la que los operadores nacionales trabajan con grandes volúmenes en una economía de escala, mientras que los operadores locales y regionales compiten con la ventaja de tener menos costes generales fijos.

Normalmente, las instalaciones para la gestión de residuos peligrosos, bajo su obligación de prestar el servicio, aceptan todo tipo de residuos peligrosos para su correcta eliminación sin tener en cuenta la competencia. No obstante, algunas instalaciones especializadas que pueden entrar en competencia con determinados tipos de residuos, sólo necesitarían ofertar tratar residuos peligrosos que puedan gestionar. A este respecto, se han desarrollado diferentes configuraciones para las instalaciones de gestión de residuos peligrosos designadas y las instalaciones en competencia.

Debido a su regionalización o a la necesidad de proximidad, algunas instalaciones de tratamiento de residuos contribuyen a crear una sustancial disminución de transporte de residuos. Sin embargo, otras instalaciones funcionan a escala suprarregional, nacional o incluso internacional, dependiendo de la especialización de determinadas operaciones de tratamiento.

Impacto de la nueva legislación sobre residuos en el sector de tratamiento de residuos

Se evitará la producción de residuos de acuerdo con la Directiva 75/442/CEE del Consejo de 15 de julio de 1975 relativa a los residuos. Cuando se produzcan residuos, se valorizarán o, cuando esto sea imposible técnica o económicamente, se eliminarán evitando o reduciendo cualquier impacto sobre el medio ambiente. Merece la pena mencionar que la Directiva IPPC tendría un impacto directo sobre la industria del tratamiento de residuos, así como sobre los productores de residuos.

Se están poniendo en práctica las condiciones reguladoras, algunas en el ámbito de la UE (por ejemplo, incineración, vertidos, residuos eléctricos y electrónicos, vehículos al final de su vida útil), para interrumpir el ciclo de grandes volúmenes con poco rendimiento e inversión. Se espera que esto conduzca a una mayor inversión en el sector y a promover el desarrollo de técnicas para tratar los residuos que anteriormente se vertían o a que se mejoren los procesos en los que antes no se trataban de forma eficaz. Esto requerirá el desarrollo de instalaciones especializadas y, probablemente, equipos para el tratamiento de residuos específicos.

Al mismo tiempo, las restricciones sobre vertidos, que se introducirán mediante la Directiva sobre vertederos, requerirán más tratamiento de éstos incluso antes o en lugar del vertido, lo que

puede conducir al desarrollo continuo de instalaciones que utilicen técnicas de estabilización y fijación. No obstante, estas técnicas son aún bastante básicas y están sujetas a varios problemas importantes.

También es probable que aumente y cambie el tratamiento de los aceites residuales, especialmente teniendo en cuenta que la aplicación de la Directiva sobre vertederos prohíbe el vertido de flujos de aceite y agua entre 2002 y 2007.

Se puede pensar en el cumplimiento normativo como una función aparte que reacciona a las fuerzas externas, aunque la realidad es que se trata fundamentalmente de la fuerza impulsora de toda la instalación. El mercado de las instalaciones de residuos está fuertemente influido por los dinámicos programas normativos que continúan experimentando importantes cambios. Por tanto, el funcionamiento de las instalaciones está dirigido a la gestión de los residuos de una forma que cumpla, e incluso supere, la normativa ambiental. Esto no es fácil debido a la gran cantidad de regulaciones a las que está sometida la industria.

Aceites usados La conciencia ambiental en la década de los ochenta ha tenido diversas consecuencias en el sector del tratamiento de los aceites usados, en particular:

- el cierre de muchas instalaciones de rerrefinado de ácidos y arcilla, principalmente en EE. UU., tanto por razones económicas como ambientales;
- el uso de equipos y dispositivos mejorados para reducir la contaminación potencial procedente de la combustión del aceite usado de lubricante;
- el desarrollo de tecnologías de rerrefinado mejoradas tanto por razones ambientales como de la calidad del producto.

Instalaciones de tratamiento físico-químico (FQ)

En los procesos de producción se dan cambios continuos que modifican el tipo de residuo, así como las sustancias auxiliares usadas. A este respecto, incluso las instalaciones FC están sujetas a procesos constantes de adaptación, tanto en términos de los procedimientos empleados como de los controles. Además, los cambios en el marco normativo también conducen a reconfiguraciones de las instalaciones. En general, los cambios en las regulaciones están dirigidos a lograr una reducción importante de las emisiones de las instalaciones FQ. La reconfiguración puede afectar a todas las áreas funcionales de las instalaciones, incluyendo la tecnología, los materiales del proceso, equipos de laboratorio e incluso al conocimiento general y especializado del personal.

Preparación de residuos sólidos municipales (RSM) que serán utilizados como combustible

La historia del uso de los RSM como combustible se remonta a la crisis del petróleo de hace 30 años. Después se promovió el combustible derivado de residuos (CDR) como combustible sustituto barato, aunque el mercado no lo aceptó nunca plenamente. Sin embargo, en los últimos 10 años ha habido un interés creciente dentro de las industrias del cemento, cal, acero y energía en los combustibles derivados de residuos, debido principalmente a razones económicas. Los objetivos de la actual política energética europea y la política de gestión de los residuos incentivan el uso de combustibles derivados de residuos con materias no peligrosas. Estos combustibles, con un contenido medio de 50 – 60 % de elementos biogénicos, pueden contribuir de forma considerable a la reducción de las emisiones de CO₂ y a doblar la cuota de energía renovable. Además, debido a la liberalización del mercado y a la necesidad de reducciones en los costes, la industria se está interesando cada vez más por los combustibles sustitutos homogéneos menos caros de una calidad específica. En la actualidad, los principales consumidores finales son las industrias del cemento y la cal. Sin embargo, el potencial de mercado en el futuro está en el sector de la generación de energía.

La política de gestión de residuos dirigida a la reducción de los vertidos de los residuos biodegradables ha influido directamente en el desarrollo de instalaciones para la producción de combustibles residuales. Igualmente, el (elevado) sistema impositivo aplicado a los vertidos

constituye el principal impulso para algunos de los Estados miembros. Contrariamente a los cambios impuestos hace 30 años debido a la crisis del petróleo, los productores de combustibles residuales tomaron la iniciativa de crear un sistema de calidad que garantizara las propiedades de los combustibles residuales sólidos producidos fuera de los RSM y, así producir un producto más fiable. Los sistemas de calidad existen ya en varios Estados miembros. El CEN recibió el mandato de la Comisión de desarrollar normas para los conocidos como «combustibles sólidos recuperados» (CSR) basados en residuos no peligrosos usados en la actualidad.

Las principales salidas de los CSR son, hoy en día, las industrias del cemento y la cal. El uso de centrales eléctricas alimentadas con carbón constituye un sector emergente. Las acerías utilizan CSR como sustitutos del carbón. En los países nórdicos, los CSR se usan principalmente para la producción de calor en las calefacciones urbanas y de la industria.

En la tabla 1.16 se muestra un desglose del consumo de combustible usado para producir cemento.

Combustible	%
Coque de petróleo	39
Hulla	36
Fuelóleo	7
Lignito	6
Gas	2
Residuos	10

Tabla 1.16: Consumo de combustible de la industria del cemento en Europa [126, Pretz, et al., 2003]

El consumo de energía específico para el cemento es de 3 – 4 MJ/kg de escoria. Asumiendo 0,75 kg escoria/kg cemento, un índice de sustitución de combustible de 30 – 50 % y un PCI de CSR de 19 MJ/kg, tenemos que hay un uso potencial de 6 – 11 Mt de CSR/año. Si asumimos un consumo de energía de 4 MJ/kg de cal, con el mismo índice de sustitución que en los hornos de cemento, tenemos que se podría usar un potencial de 1 – 2 Mt de CSR/año para una producción anual de 20 Mt de cal.

El uso estimado de CSR en hulla y lignito para la producción de energía en la UE es de 14 – 29 Mt de CSR/año (suponiendo un índice de sustitución con un mínimo de 5 – 10 % de base de calor). El mercado potencial total de CSR puede estar entre 21 y 42 Mt/año, lo cual representa una cantidad sustancial de CSR que se puede producir a partir de RSM y otros combustibles residuales. Existen grandes diferencias entre los distintos países. Alemania todavía tiene muchas centrales eléctricas alimentadas con lignito y carbón. Francia tiene una política dirigida al uso de centrales nucleares y, por tanto, sólo tiene unas pocas centrales eléctricas alimentadas con carbón. En el «Informe del CEN sobre combustibles recuperados» [21, Langenkamp y Nieman, 2001], se indica un potencial de uso de CSR de entre 33 y 50 Mt/año. La conclusión es que la producción de CSR está aumentando y que se puede convertir en un vínculo fundamental en el sistema para la gestión de los residuos.

1.4 Problemas ambientales generales relacionados con las instalaciones que tratan residuos

La composición de los residuos es muy variable y la gama potencial de componentes que pueden presentar es enorme. Debido a dicha variación en los componentes y en la composición, hay muy pocas emisiones comunes de las operaciones de gestión de residuos ya que cada instalación tiene una combinación ligeramente diferente de las operaciones unitarias y acepta una gama diferente de residuos basados en las circunstancias locales.

La intención de este apartado es proporcionar un breve resumen de los principales problemas ambientales del sector. En el capítulo 3 se presenta una imagen más precisa de los problemas ambientales del sector.

Emisiones al aire

La mayoría de las instalaciones de residuos emiten al aire dióxido de carbono, amoníaco y partículas. Determinadas sustancias orgánicas pueden identificarse comúnmente en casi todos los sitios y merece la pena observar que la mayoría de las instalaciones crean alguna clase de emisiones en particular simplemente a través de la manipulación de los productos. Los problemas como olores y compuestos orgánicos volátiles también son importantes. Otros contaminantes que se pueden encontrar en algunas instalaciones son el cloruro de hidrógeno, amoníaco, aminas y sulfuro de hidrógeno. Los otros componentes que se pueden producir son los HAP y las dioxinas, principalmente debido a que se importan con los residuos que se tratan. Estos son un problema tanto desde el punto de vista de la salud como del medio ambiente. Se forman durante la combustión incompleta de materia orgánica (por ejemplo, incineración, coincineración, combustión de algunos combustibles) y vía la reconversión durante el enfriamiento de los efluentes gaseosos. Los HAP son relativamente difíciles de descomponer. La tabla 1.17 muestra las emisiones principales al aire procedentes de las operaciones de tratamiento de residuos.

Principales emisiones al aire	Operación de tratamiento de residuos
Ácidos (HCl)	Incineración Tratamientos físico-químicos
Amoníaco	Tratamientos biológicos Tratamientos físico-químicos
Óxidos de carbono	Sistemas de energía Tratamientos térmicos Tratamientos biológicos
Contaminación microbiológica	Tratamientos biológicos Biofiltros
Óxidos de nitrógeno (N ₂ O, NO, NO ₂)	Sistemas de energía Tratamientos térmicos Tratamientos biológicos
Óxidos de azufre	Sistemas de energía Tratamientos térmicos
Partículas (incluyendo metales)	Sistemas de energía Almacenamiento y manipulación de sólidos Tratamientos térmicos
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	Tratamientos biológicos Tratamientos de aceites residuales Tratamientos de disolventes residuales Sistemas de separación de hidrocarburos y agua Almacenamiento y manipulación de sustancias orgánicas
Nota: consulte el capítulo 3 para obtener información sobre emisiones específicas de diferentes operaciones de tratamiento de residuos.	

Tabla 1.17: Principales contaminantes emitidos por los tratamientos de residuos y sus fuentes principales

Emisiones de agua

La mayoría de instalaciones de residuos declaran unas emisiones totales de nitrógeno, carbono orgánico, fósforo y cloruros en el agua. La tabla 1.18 ofrece un resumen de las principales emisiones al agua procedentes de las operaciones de tratamiento de residuos.

Principales emisiones de agua	Operaciones de tratamiento de residuos
Compuestos clorados (por ejemplo, AOX)	Tratamientos de disolventes residuales
Metales (por ejemplo, As, Cd, Cu, Hg, Ni, Sn, Zn)	Tratamientos biológicos Almacenamiento y manipulación comunes de los residuos Tratamientos físico-químicos de la extracción de los metales, residuos de acabado, productos de síntesis y fabricación orgánica. Tratamientos de aceites residuales
Productos químicos orgánicos (por ejemplo, DBO, DQO, COT, hidrocarburos, fenoles, BTEX)	Tratamientos de aceites residuales Tratamientos de disolventes residuales Sistemas de energía
Nitrógeno total	Tratamientos físico-químicos Tratamientos biológicos
Fósforo total	Tratamientos físico-químicos Tratamientos biológicos
Nota: consulte el capítulo 3 para obtener información sobre emisiones específicas de diferentes operaciones de tratamiento de residuos.	

Tabla 1.18: Principales contaminantes del agua (parámetros) emitidos por los tratamientos de residuos y sus fuentes principales

Producción de los residuos

Generalmente, la producción de las instalaciones de tratamientos de residuos es un residuo tratado. Sin embargo, dichas producciones se pueden diferenciar en dos tipos: uno hace referencia al residuo tratado (normalmente representando la parte principal de la producción) que, en algunos casos, se puede volver a utilizar en otra parte. El otro tipo está representado por los residuos generados por el proceso de tratamiento en sí mismo. La apariencia de este segundo no sólo depende del tipo de residuo tratado, sino también del tipo de tratamiento empleado con los residuos. En realidad, este segundo tipo de residuo depende más del tratamiento que del tipo real de residuo tratado.

Contaminación del suelo y las aguas subterráneas

En el pasado, la manipulación sin precaución alguna de los residuos fue el origen de la contaminación de la tierra, como ha sido el caso en casi todos los sectores industriales. Como en el caso de muchas otras industrias, la del tratamiento de residuos no es actualmente una actividad que contamine la tierra. De acuerdo con el proceso y el tipo de residuos usados, se han desarrollado acciones preventivas como la retención, impermeabilización y supervisión de las aguas subterráneas con el fin de prevenir y controlar la contaminación tanto del suelo como de las aguas subterráneas.

2 PROCESOS Y TÉCNICAS APLICADOS

Este apartado describe aquellos tratamientos y procesos dentro del sector del tratamiento de residuos que se incluyen en el ámbito de este documento. Este capítulo es para aquellos que se interesen por tener una comprensión general de los procesos y actividades encontrados en el sector industrial y para quienes estén interesados en las interrelaciones entre los procesos industriales y los temas descritos en los últimos capítulos de este documento, es decir, los consumos, emisiones y mejores técnicas disponibles.

Por tanto, el objetivo de este capítulo no es replicar la información técnica publicada que se encuentra disponible en la literatura de carácter general. Esto quiere decir que algunas técnicas ampliamente usadas en el sector del tratamiento de residuos no se describirán en este capítulo puesto que se trata de operaciones de unidades simples sobradamente explicadas en otros lugares. Para dichas técnicas, se presentarán tablas resumen que destacarán en la medida de lo posible el propósito, el principio y los usuarios.

Estructura de este capítulo

En este documento, los procesos y actividades encontrados en el sector del tratamiento de residuos se dividen en seis secciones. Dicha estructura y clasificación no se deberá entender como un intento de interpretar la Directiva IPPC o cualquier otra legislación comunitaria sobre residuos. Las mencionadas secciones son las siguientes:

1. técnicas comunes. Cubren aquellas etapas encontradas en el sector de los residuos que se aplican generalmente y que no son específicas de ningún tipo individual de tratamiento de residuos (por ejemplo, recepción, combinación, clasificación, almacenamiento, sistema energético, gestión). También se incluyen las operaciones unitarias asociadas con estos tratamientos. La figura 2.2 muestra un diagrama de flujos de una instalación típica de tratamiento de residuos. Las casillas marrones corresponden a las partes que se incluirán en este primer apartado;
2. tratamientos biológicos y algunos tratamientos mecánico-biológicos (por ejemplo, digestiones aerobias y anaerobias). También se incluyen las operaciones unitarias asociadas con estos tratamientos;
3. tratamientos fisico-químicos. Cubre los tratamientos como la precipitación, decantación y centrifugado, recuperación de disolventes y cualquier tratamiento térmico no incluido en el BREF sobre IR. También se incluyen las operaciones unitarias asociadas con estos tratamientos;
4. tratamientos aplicados a los residuos para permitir el reciclaje/regeneración de materiales (por ejemplo, catalizadores, disolventes, aceites usados, etc.). También se incluyen las operaciones unitarias asociadas con estos tratamientos;
5. tratamientos aplicados a convertir un residuo en material que se pueda usar como combustible en sectores industriales diferentes. También se incluyen las operaciones unitarias asociadas con estos tratamientos;
6. técnicas de final de línea usadas en las instalaciones de tratamiento de residuos para la reducción de emisiones.

La figura 2.1 y 2.2 ilustran la clasificación mencionada antes. Esta clasificación también se repite en cada uno de los siguientes capítulos para mantener la coherencia y facilitar al lector la información de referencias cruzadas.

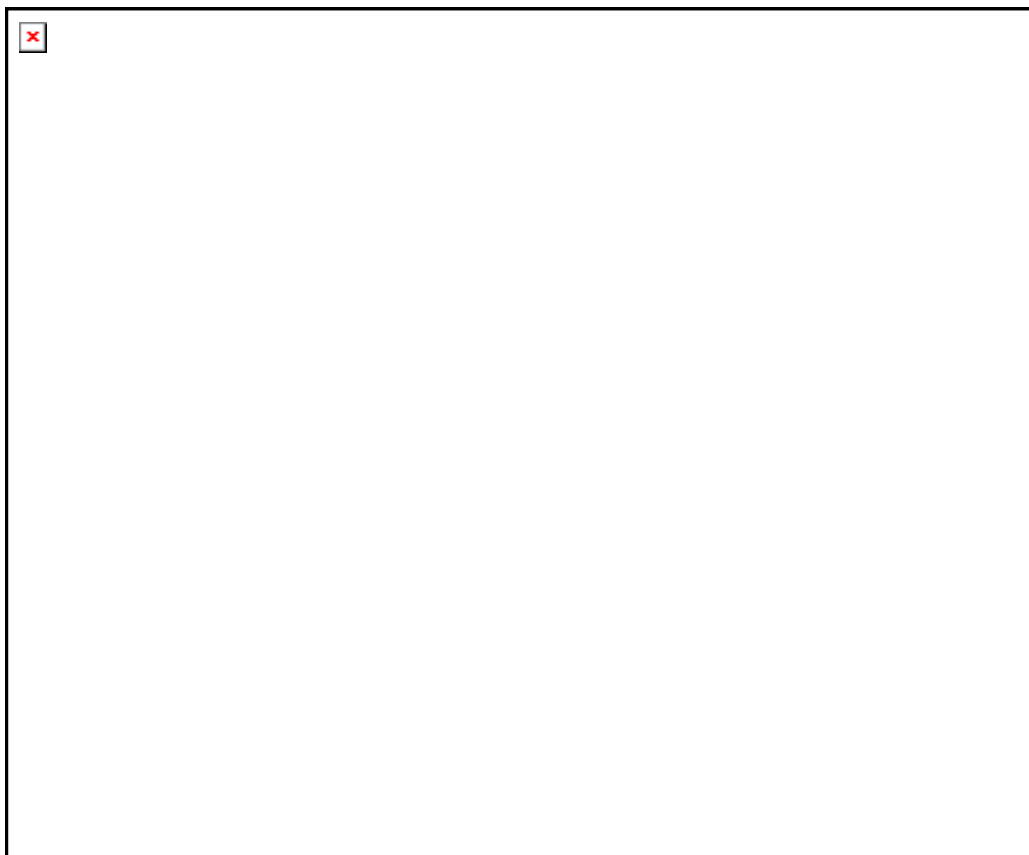


Figura 2.1: Estructura de los capítulos

Nota: esta figura sólo trata de proporcionar una instantánea de cómo se estructura la información en este documento. Es posible que haya excepciones para cualquiera de estas categorías y, a veces, resulta difícil clasificar un tratamiento en un bloque determinado.

Dentro del bloque «preparación de residuos que serán utilizados como combustible», no se incluye el proceso de combustión en el ámbito de este documento. Para obtener más información, consulte el apartado **Ámbito**.

Dicha estructura no se debe interpretar como un intento de proporcionar directrices sobre si el tratamiento de residuos es valorización o eliminación según la legislación comunitaria sobre residuos. [150, GTT, 2004]



Figura 2.2: Operaciones habituales en los tratamientos de residuos y cómo se han distribuido éstas en el presente documento y siguientes capítulos

Muchas de las técnicas citadas en este capítulo se describen brevemente mediante la información proporcionada en la estructura que se muestra en la tabla 2.1. Esta misma estructura se usa para todas las técnicas con el fin de ayudar al lector a valorar fácilmente la información de este documento.

Nombre del tipo de información	Tipo de información incluida
Finalidad	Breve explicación de para qué se usa este tipo de tratamiento de residuos
Principio de funcionamiento	Tipo de proceso llevado a cabo y breve explicación
Flujos de alimentación y salida	Tipo de residuo que se puede tratar mediante el tratamiento, así como detalles de los productos que intervienen en el funcionamiento
Descripción del proceso	Breve descripción del proceso. Cuando corresponda, se usarán cifras y esquemas
Usuarios	Referencia al número de instalaciones que usan la técnica en Europa y en todo el mundo. Igualmente, detalles de qué sectores del tratamiento de residuos usan este tipo de técnica

Tabla 2.1: Información contenida en la descripción de cada técnica incluida en el capítulo 2 [150, GTT, 2004]

Instalaciones para el tratamiento de residuos

Al tiempo que los residuos están almacenados, se desarrollará un programa de tratamiento que identificará los residuos a tratar, su ubicación en el almacén, cualquier preparación que pueda ser necesaria, el método de tratamiento y la frecuencia con la que se deben alimentar. Al principio de su tratamiento, normalmente los residuos se alimentan al equipo usado para llevar a cabo los pasos del tratamiento prescrito mediante sistemas de manipulación de materiales a granel, como tuberías o cintas transportadoras. Las operaciones de tratamiento se pueden realizar por lotes o de forma continua.

En las instalaciones para el tratamiento de residuos es común que haya diferentes tipos de enfoques. Se pueden clasificar ampliamente en tres grupos:

- instalaciones de residuos incluidas en el mismo lugar en donde se producen los residuos. Normalmente sirven para atender a unos pocos tipos de residuos y pueden ofrecer solamente un número restringido de tratamientos;
- instalaciones de residuos especializadas en un fin específico, que proporcionan una o varias operaciones pero que normalmente tratan sólo un pequeño número de tipos de residuos o que tienen una producción relativamente pequeña;
- instalaciones de tratamiento de residuos integradas. Algunas instalaciones para el tratamiento de residuos no son instalaciones independientes que sólo contengan un tipo único de tratamiento. Algunas están diseñadas para ofrecer una amplia variedad de servicios y están diseñadas para tratar una gran cantidad de tipos de residuos. Como se mencionó en el apartado 1.1, las instalaciones para el tratamiento de residuos están diseñadas para producir los servicios de tratamiento requeridos. Por ejemplo, algunas veces están diseñadas para proporcionar un determinado tipo de tratamiento con el fin de tratar grandes cantidades y diversos tipos de residuos (por ejemplo, residuos acuosos, residuos sólidos municipales, etc.). La figura 2.3 es un ejemplo de dichas instalaciones complejas.



Figura 2.3: Ejemplo de una instalación de tratamiento de residuos integrada [53, LaGrega, et al., 1994]

La tabla 2.2 presenta las operaciones llevadas a cabo en las instalaciones para el tratamiento de residuos con los componentes de la instalación completamente integrada. Es importante tener en cuenta que todos los componentes funcionan bajo el paraguas de varias medidas especiales. Dichas medidas especiales de precaución incluyen la seguridad, inspecciones, mantenimiento, formación, prevención de accidentes, planes de emergencia, supervisión y auditorías.

Componentes de la instalación	Subsistemas de operaciones				
	Análisis de los residuos antes de su envío	Recepción de los residuos	Almacenamiento y preparación de residuos	Tratamiento de los residuos	Gestión de la producción de sólidos
Laboratorio analítico	X	X			
Área de espera de los camiones		X			
Portería		X			
Báscula puente		X			
Descarga y almacenamiento de bidones		X	X		
Patio de depósitos		X	X		
Residuos a granel y preparación de residuos		X	X		
Tratamiento biológico				X	X
Tratamiento físico-químico				X	X
Instalación de estabilización				X	X
Regeneración				X	
Preparación de residuos que serán utilizados como combustible				X	X
Incineradora*				X	X
Celdas de vertido*					X

* No se incluye en este documento

Tabla 2.2: Ejemplos de subsistemas de operaciones y sus componentes [53, LaGrega, et al., 1994], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

¿Qué procesos se aplican a cada tipo de residuo?

Con el fin de seleccionar qué tipo de tratamiento se puede dar a un determinado residuo, se han desarrollado unos árboles de decisiones.

2.1 Técnicas comunes aplicadas en el sector

[40, Milton y Becaud, 1998], [50, Scori, 2002], [51, Inertec, et al., 2002], [53, LaGrega, et al., 1994], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [100, PNUMA, 2000], [116, Irish EPA, 2003], [119, Watco, 2002], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004], [156, VROM, 2004] [157, UBA, 2004].

Este apartado trata sobre los pretratamientos/actividades o postratamientos/actividades (consulte la introducción del capítulo 2 y la figura 2.2) comúnmente usados en el sector del tratamiento de residuos e incluidos en el ámbito de este documento. También incluye algunas actividades de tratamientos que se usan comúnmente en todo el sector. Por ejemplo, incluye las técnicas usadas para el reempaquetado, triturado, cribado, desecación, combinación, clasificación, homogeneización, rascado, fluidificación, lavado, embalaje, reagrupamiento y almacenamiento, transporte, recepción y control de trazabilidad, así como técnicas de gestión empleadas en las instalaciones de tratamiento de residuos. Sólo se describen con detalle aquellas técnicas importantes desde el punto de vista ambiental. Las otras técnicas consideradas como genéricas o muy especializadas no se han descrito, aunque se citan en los dos últimos apartados de este apartado 2.1. Las técnicas aplicadas para la reducción de las emisiones (por ejemplo, filtros de aire, biofiltros, tratamientos de aguas residuales, etc.) se mencionan brevemente en el apartado 2.6 y se analizan ampliamente en los tres últimos apartados del capítulo 4.

2.1.1 Recepción, aceptación, trazabilidad y garantía de calidad

En la mayoría de instalaciones para el tratamiento de residuos, se respeta el siguiente orden: a) aceptación, b) almacenamiento, c) tratamiento, d) almacenamiento de residuos y emisiones. Cada uno de los pasos anteriores requiere el conocimiento y el control de los residuos así como la gestión específica de la aceptación y el procesamiento. El conocimiento de los residuos, antes de que se acepten y traten, es un factor clave de la gestión de las instalaciones de TR. El objetivo de este apartado es presentar los diferentes tipos de controles y análisis que se pueden llevar a cabo durante el proceso de tratamiento de residuos, desde la aceptación previa y llegada de los residuos al emplazamiento, hasta su envío final.

Procedimientos de preaceptación y aceptación

Muchos de las instalaciones de TR (por ejemplo, instalaciones para el tratamiento de residuos peligrosos) necesitan que se les facilite información y muestras antes de que se realice el transporte a su emplazamiento con el fin de permitirles asegurar que los residuos se encuentran dentro de los requisitos que permite su licencia y que no afectarán de forma negativa a su proceso de tratamiento. La preaceptación incluye la toma de muestras, rellenar un formulario de identificación, llevar a cabo los análisis y, finalmente, valorar si se pueden aceptar los residuos en la instalación. Si se pueden preaceptar, los residuos se transportan a las instalaciones, en las que se llevará a cabo un segundo análisis para ayudar una vez más a tomar la decisión de si se aceptarán o rechazarán. Por tanto, el procedimiento de aceptación presenta dos etapas: en primer lugar la fase de preaceptación y, en segundo, la de aceptación.

Preceptación

Los procedimientos de preceptación de residuos siguen tres pasos principales:

- a. el productor del residuo facilita la información. Por ejemplo, un formulario específico sobre la identificación del residuo (características principales, consideraciones sobre el estado y la seguridad, cómo se produjo, etc.);
- b. se llevan a cabo análisis preliminares y completos con el fin de caracterizar el residuo;
- c. en función de la información, el operador toma la decisión final sobre si aceptar el residuo en la instalación o no (teniendo en cuenta las especificaciones incluidas en su permiso y otros requisitos del proceso). Siempre hay reglas para aceptar los residuos conforme a la descripción. Algunas de estas reglas son de ámbito nacional y otras, de ámbito internacional. Por ejemplo, puede tratarse de determinados porcentajes de diferenciación o parámetros restringidos por el permiso. En ciertos casos, se puede poner en práctica una valoración arriesgada. De esta forma, el procesador de residuos puede valorar el riesgo de contravención de determinadas reglas (por ejemplo, reglas nacionales). Un ejemplo de clasificación del riesgo en la fase de preceptación podría ser:
 - el residuo está clasificado como de «alto» riesgo si es un residuo nuevo o de un nuevo cliente;
 - el residuo está clasificado de «bajo» riesgo si:
 - es un residuo conocido de un cliente conocido,
 - es predecible en sus propiedades y composición y
 - hay pocos riesgos de contaminación o dilución del residuo con otros residuos o materiales.

En ciertos casos, es posible que sea necesario adaptar parte de este procedimiento (por ejemplo, los análisis) si se dieran unas condiciones peligrosas durante el muestreo o si hay una cantidad muy pequeña de residuo.

La finalidad de la caracterización completa antes del envío es satisfacer los siguientes requisitos para:

- determinar si el residuo resulta aceptable para ser recibido en las instalaciones en términos de:
 - el permiso de la instalación,
 - la capacidad de la instalación para tratar o desechar el residuo;
- identificar los peligros inherentes del residuo para tomar las precauciones adecuadas durante su manipulación y almacenamiento en las instalaciones con el fin de prevenir accidentes;
- determinar las características físicas y los componentes químicos del residuo para permitir la selección de los métodos más efectivos de procesamiento y eliminación;
- seleccionar los parámetros de verificación que se deben comprobar a la llegada a la instalación. Estos parámetros pueden asegurar que cada envío de residuos es del mismo tipo que el residuo totalmente caracterizado;
- seleccionar los parámetros de tratabilidad que se deben comprobar que podrían variar para poder influir en cómo se programará el procesamiento del residuo;
- desarrollar un cálculo de los costes del tratamiento o la eliminación del residuo.

Aceptación

En el momento de la recepción se asigna un código único a los contenedores de residuos, o lotes, para asegurar que se realiza un seguimiento en todo momento. Los contenedores individuales o las ubicaciones de almacenamiento específicas se marcan en consecuencia. Algunas empresas de recuperación de aceites usadostienden a comprobar las materias entrantes haciendo unas preguntas al conductor del camión y sometiendo muestras de la parte superior e inferior del camión a una inspección visual y olfativa. Una clasificación del riesgo en la fase de aceptación podría ser:

- normalmente los residuos con una clasificación de alto riesgo se analizan siempre a la entrega;
- los residuos con una clasificación de riesgo bajo se prueban ocasionalmente de acuerdo con los datos procedentes de la fase de preaceptación. El proceso de aceptación se conduce normalmente mediante receptores con una función independiente de los operadores del proceso o los adquirientes del residuo. El proceso completo que clasifica los riesgos de no conformidad con los datos de la fase de preaceptación y la descripción de las funciones y responsabilidades de varias personas implicadas en la aceptación del residuo forma parte normalmente del plan de análisis del residuo.

En el momento de la aceptación del residuo, la instalación firma una declaración y envía una copia a su productor (creador). En este punto, la instalación puede compartir la responsabilidad, en algunos casos, con el productor y el transportista. En otros, el productor del residuo mantiene la responsabilidad de su tratamiento hasta que se lleva a cabo el último tratamiento. Por tanto, resulta vital que se haya completado el análisis de los residuos de preenvío y que se haya programado el envío. Sin la previa programación del envío entrante o si el envío está incorrectamente documentado, la recepción rechazará la entrada del camión.

Muestreo y análisis

Una proporción de los residuos se criba en la instalación. El nivel de cribado es una función de la cantidad de procesamiento a llevar a cabo y el tamaño del contenedor. Por ejemplo, los materiales a tratar en una instalación contigua se probarán para verificar la compatibilidad, como se hará con los bidones de material para su agrupamiento y posterior transferencia. Los sistemas de criba varían en función de la instalación de acuerdo con el tipo de residuo y su tratamiento correspondiente. Por ejemplo, la criba puede implicar una comprobación inicial del nivel de pH, olores y punto de inflamabilidad conforme se descargan los materiales, seguido de una criba más detallada confrontada con los contenidos indicados en las listas de envío de los materiales que se decantarán en la instalación.

La forma de llevar a cabo el muestreo y los análisis puede variar dependiendo de la finalidad de las comprobaciones; por ejemplo, la preaceptación, aceptación, recepción, análisis del proceso, trazabilidad, análisis de envíos, recepción en las instalaciones del usuario final o análisis externos. El informe CEN TC 292 ofrece información sobre el muestreo y la preparación de las muestras. En el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** hay más información disponible.

Laboratorio

En el momento de la recogida de la muestra, normalmente el laboratorio analiza una parte para los parámetros de verificación y retiene el resto para posteriores pruebas sobre los parámetros de trazabilidad. Al realizarse la verificación del envío del residuo, el camión se dirige a un área de descarga en la que se vacía y vuelve a pesarse antes de abandonar la instalación. Las tareas esenciales del laboratorio son:

- aceptación e identificación,
- establecimiento del programa de tratamiento,
- control del proceso,
- inspección final.

Un plan de análisis del residuo constituye una parte fundamental de cualquier instalación. El plan especifica los parámetros para los que se analizará cada residuo, el muestreo y los métodos analíticos a usar, así como la frecuencia de los análisis. Antes de que una instalación trate, almacene o elimine un residuo, deberá tener un perfil de éste, incluyendo los análisis químicos y físicos detallados de una muestra representativa de dicho residuo. Las instalaciones comerciales necesitan esta caracterización completa antes de recibir envíos de productores de residuos. La muestra representativa de los envíos de residuos se conduce a su llegada a la instalación para verificar que la composición de éstos coincide con la información expuesta en las hojas de residuos completamente caracterizados.

Los laboratorios de las instalaciones asumen una importancia central, por ejemplo, en los tratamientos físico-químicos de las aguas residuales. Tanto las simulaciones del proceso para establecer los programas de tratamiento como el trabajo analítico se realizan para determinar la secuencia de los procesos en el sentido de los controles de éstos así como de las emisiones (aguas residuales, aire emitido, etc.); el programa de tratamiento contiene las instrucciones exactas relativas a cómo se tratará el residuo, qué elementos químicos se usarán —de acuerdo con el tipo y la cantidad/dosis— y qué controles y documentos se expedirán. En la figura 2.4 se representa gráficamente un ejemplo de estas interrelaciones.

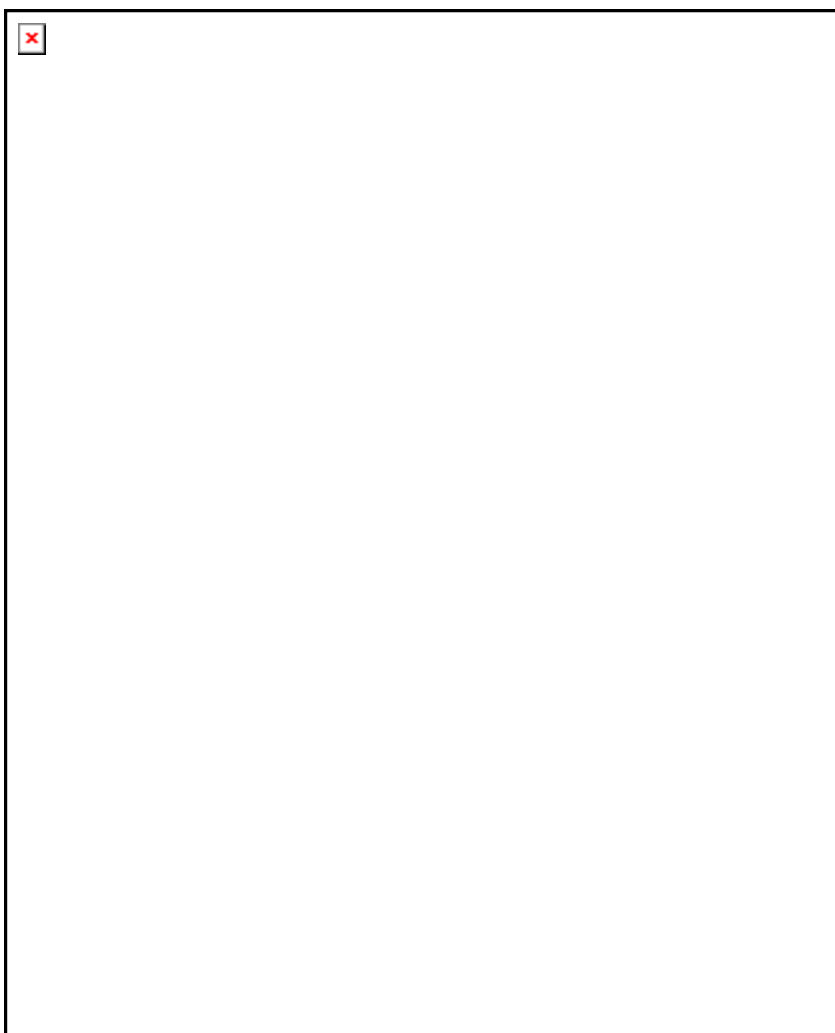


Figura 2.4: Diagrama de flujos simplificado de un ejemplo de comprobación o inspección de una instalación de tratamiento físico-químico de aguas residuales [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

Recepción

Normalmente, los residuos se inspeccionan físicamente cuando llegan a la instalación para comprobar la integridad de los contenedores y verificar visualmente el tipo de residuo. La mayoría de instalaciones realizan una inspección regular diaria de la integridad de los contenedores de la instalación.

Los envíos de residuos llegan habitualmente en camión a la recepción de las instalaciones. Los envíos programados y debidamente documentados se dirigen a la estación de recepción en donde se comprueban los embalajes, se pesan los camiones cargados y se recogen muestras representativas para probar los parámetros de verificación. Los residuos pueden llegar en forma

de líquido en camiones cisterna, en contenedores de líquidos o lodos en bidones, como envíos a granel de tierras contaminadas en camiones volquete o por otros métodos diferentes. La recogida de una muestra representativa puede suponer una tarea difícil teniendo en cuenta que el residuo puede encontrarse en múltiples fases y estados o tener bolsas con una alta contaminación. La estación receptora deberá usar los procedimientos previamente establecidos para cada situación con el fin de asegurar la recogida de una muestra representativa.

El mero hecho de «vaciar» un camión puede constituir un difícil reto si el residuo se ha estratificado, el contenedor tenía fugas o si se ha producido una reacción de solidificación. Para estas situaciones anómalas, las instalaciones tienen normalmente procedimientos y están preparadas con equipos especiales para resolver el problema. Finalmente, es posible que sea necesario tener que limpiar el camión para eliminar cualquier residuo.



Figura 2.5: Ejemplo de recepción y aceptación de residuos en una instalación que trate líquidos a granel y bidones [80, Petts y Eduljee, 1994]

Sistemas de garantía de calidad

Una parte de la gestión de los residuos en las instalaciones es la organización de la logística, como, por ejemplo, del procesamiento de combustibles residuales sólidos. Eligiendo y usando materiales residuales específicos, los productores de combustibles residuales sólidos establecen por sí mismos un tipo de garantía de calidad. Los sistemas de garantía de calidad ya existen y hay otras regulaciones en fase de desarrollo.

En el pasado, el combustible residual sólido se producía principalmente a partir de residuos relacionados con procesos como lotes independientes que eran más fáciles de manipular debido a sus cualidades constantes. Hoy en día, las fracciones altamente caloríficas de los residuos sólidos municipales y de otros residuos mezclados son lo que se persigue como fuente para la producción de combustibles residuales sólidos. El objetivo de un sistema de garantía de calidad es lograr y asegurar calidades constantes para aumentar la aceptación por parte de los usuarios finales y de las autoridades competentes. Los requisitos conciernen principalmente a la calidad del producto.

2.1.2 Técnicas de gestión

Este apartado cubre la gestión operativa y la gestión de las emisiones de la instalación. Es necesario aplicar algunas medidas de precaución especiales con relación a:

- seguridad,
- inspección y mantenimiento,
- prevención de accidentes,
- planes de emergencia,
- formación de empleados,
- protección,
- supervisión,
- auditorías.

Accidentes

El riesgo de accidentes resulta inherente cuando se trata con residuos y, en particular, con residuos peligrosos. Los residuos son heterogéneos en naturaleza y a menudo intrínsecamente agresivos para la instalación y el equipo. Cualquier fallo en la gestión de los residuos, desde el proceso de caracterización y comprobación de los residuos hasta las reacciones de control operativo y la mezcla de residuos, aumentará significativamente el riesgo de que se produzcan reacciones no deseadas o fuera de control.

2.1.3 Sistemas de energía

En este apartado se tratan los problemas de gestión de la energía. No se incluyen las instalaciones para la generación de vapor o electricidad debido a que ya se encuentran incluidas en otros documentos BREF (por ejemplo, los relativos a las grandes instalaciones de combustión, incineración de residuos, etc.).

Para que una instalación funcione se necesita calor y energía. Algunos equipamientos comunes que utilizan combustibles fósiles incluyen carretillas elevadoras, pequeñas calderas, trituradoras y rectificadoras. Éstas toman una mezcla de combustible diésel estándar de vehículos y diversos fuelóleos. Algunos de estos equipos se pueden alimentar eléctricamente o incluso neumáticamente. Algunas instalaciones tienen calderas in situ para la producción de vapor.

Los principales usos de la energía en las instalaciones para el tratamiento de residuos son:

- calefacción, iluminación y alimentación de los edificios;
- alimentación para los procesos de tratamiento y equipos de las instalaciones, como bombas, compresores de aire, centrifugadores, etc.;
- combustible para los vehículos.

El buen diseño y la gestión de los sistemas de energía son aspectos importantes para minimizar el impacto ambiental de las instalaciones para el tratamiento de residuos.

2.1.4 Almacenamiento y manipulación

Los objetivos del almacenamiento son:

- almacenar los residuos de forma segura antes de su introducción como alimentación para el tratamiento;

- proporcionar un tiempo de acumulación adecuado. Por ejemplo, durante los períodos cuando los sistemas de los procesos de tratamiento y eliminación están fuera de servicio o cuando va a haber una separación de tiempos entre el tratamiento y el envío de residuos o con el fin de controlar e inspeccionar o para acumular suficientes residuos para poder utilizar la capacidad completa del tratamiento, etc.;
- separar el tratamiento y el envío de los residuos;
- permitir un uso efectivo de los procedimientos de clasificación que se harán durante los períodos de almacenamiento y acumulación;
- facilitar procesos de tratamiento continuo. Los procesos de tratamiento continuo no pueden reaccionar a cambios repentinos e importantes en la composición y reacciones del residuo al tiempo que se garantiza un resultado de tratamiento específico. Por esta razón, se deberá lograr la homogeneización de las diferentes propiedades y el nivel de tratabilidad del residuo y asegurarse del residuo que se va a tratar mediante el almacenamiento/acumulación intermedio. Por tanto, se deberá establecer el almacenamiento y los depósitos antes del tratamiento real en las instalaciones FQ con funcionamiento continuo;
- facilitar la mezcla, combinación y reempaquetado de los residuos según se considere necesario;
- permitir la entrada por etapas de diferentes residuos con reactivos para los posteriores tratamientos unitarios;
- recoger una cantidad razonable de residuos antes del envío a determinados tratamientos (por ejemplo, centrales de traslado).

Desde pequeños paquetes hasta almacenamiento a gran escala (reagrupamiento)

Los residuos se pueden clasificar en diferentes categorías dependiendo del envío masivo de materiales compatibles a instalaciones específicas para su tratamiento o eliminación. Por ejemplo, los pequeños contenedores se pueden empaquetar en bidones de 205 litros con vermiculita como relleno de embalaje con el fin de facilitar su manipulación y transferencia. Los contenedores más grandes se pueden clasificar simplemente en diferentes categorías de residuos y ordenarlos en palés antes de su posterior envío.

Algunos residuos se decantan y agrupan en contenedores más grandes, como por ejemplo:

- contenedores de laboratorio o pequeños contenedores comerciales en bidones de 205 litros o RIG;
- los residuos en bidones se pueden transferir a RIG;
- la fracción líquida de los residuos en bidones se decanta en RIG;
- la fracción acuosa de los residuos en dos fases se decanta;
- parte de las cargas de cisternas se puede guardar para esperar por otro material hasta que se complete la carga.

Decantar los residuos reduce el tonelaje de los materiales de empaquetado asociados con la posterior transferencia y produce un conjunto uniforme de unidades más grandes que se pueden almacenar más fácilmente en las instalaciones y que se empaquetan y etiquetan listas para su tránsito. Esto tendrá gran importancia para la posterior instalación receptora, que podrá necesitar un flujo controlado y comprobado de material para su proceso.

Una función de las instalaciones de disolventes de residuos es reagrupar y reacondicionar pequeños volúmenes (bidones, etc.) para prepararlos como combustibles o para regenerarlos como disolventes que se podrán volver a utilizar. El objetivo de las instalaciones para reagrupar disolventes o preparar combustibles líquidos es preparar un residuo a la medida, estable y homogéneo que se adapte a los requisitos de su utilización final (reciclaje, incineración o coincineración).

Transferencia de materiales

La siguiente etapa de los residuos puede ser la recuperación, tratamiento o eliminación, y se puede procesar en unas instalaciones adyacentes dentro del mismo complejo o puede ser necesaria la transferencia a otros vehículos para su traslado.

La elección del transporte del material depende de la forma física de éste. En otras palabras, el transporte de gases, líquidos y sólidos implica diferentes técnicas. Los sólidos se transportan con cintas transportadoras, carretillas elevadoras, camiones, transportadores neumáticos, palas, grúas, cintas rodantes, etc. Los líquidos y semilíquidos se transportan mediante bombas, tuberías, cintas transportadoras, transportadoras helicoidales, elevadores, etc., y los gases mediante compresores y tubos.

Debido a los esfuerzos continuos por evitar que se produzcan residuos y la recogida separada de éstos, la manipulación de pequeñas cantidades de aproximadamente 1 m³ cobra particular importancia. En algunos países se han desarrollado sistemas para separar la recogida y el transporte de los residuos (por ejemplo, el sistema de contenedores AS de Alemania).

Aceptación de paquetes

Las instalaciones para el tratamiento físico-químico aceptan residuos por cisterna, camión, tuberías de conducción o barco, y normalmente almacenan el residuo antes de su tratamiento bien en pequeños contenedores o en depósitos.

Lavado y limpieza de los vehículos y receptáculos o contenedores

Después de la entrega y vaciado, los vehículos o construcciones y los receptáculos o contenedores pueden limpiarse in situ (por ejemplo, con un acuerdo con la empresa de transportes) o externamente, excepto cuando los receptáculos o contenedores se desechan, el residuo adherido no es peligroso o las construcciones, receptáculos o contenedores se usan de nuevo para transportar un residuo similar.

Debido a las muchas clases diferentes de bidones, contenedores, construcciones, etc. que existen, la limpieza, al margen de algunas excepciones, se lleva a cabo manualmente usando dispositivos de rociado, equipos de lavado a alta presión o técnicas de barrido y cepillado. La limpieza se puede llevar a cabo por dentro y por fuera, con el fin de garantizar la reutilización de los bidones, contenedores, construcciones, etc. La limpieza interior es importante para evitar que se transmitan sustancias. Esto puede llegar a ser crucial, por ejemplo, cuando el límite de materiales adsorbibles orgánicos de cloruros en el agua residual de una instalación FQ (valor AOX) es de 1 mg/l, y esta concentración se pueda ver afectada por la concentración dejada con los rellenos (por ejemplo, por residuos correspondientes a ingredientes AOX). Normalmente, se lleva a cabo un tratamiento aparte de las aguas de limpieza con el fin de asegurar que el alcantarillado no se contamina con dichas aguas.

Una instalación para la limpieza de los contenedores puede ser una instalación automática que limpie tanto su interior como su exterior. El proceso de limpieza está controlado informáticamente por medio de sensores sin contacto. La capacidad máxima de la instalación es de 10 contenedores por hora. Los movimientos de trabajo de los dispositivos de manipulación se llevan a cabo hidráulicamente. Los dispositivos de limpieza se suministran con agua mediante dos bombas de alta presión con una capacidad de 132 kW cada una. El agua de lavar corre en un circuito cerrado por el sistema de tratamiento de aguas existente.

Recuperación de recipientes

La mayoría de contenedores entrantes (vidrio, metal o plástico) se trituran o aplastan antes de su reciclaje o eliminación. Algunos bidones y RIG se clasifican para su reutilización en las operaciones de transferencia y otros se levantan (o ventilan) antes de volver a usarlos o venderlos.

El vaciado de bidones puede ser una sencilla operación de agrupamiento y una operación de cribado para comprobar los contenidos de éstos antes de verterlos, como ocurre en algunos

países. En realidad la última práctica mencionada está prohibida por la Directiva sobre vertederos.

Formas de almacenamiento e instalaciones

Los patios de depósitos pueden formar parte de una operación de transferencia y agrupamiento o pueden operar como actividades independientes. Es probable que el almacenamiento masivo se vuelva más común conforme más residuos requieran tratamiento según ordena la Directiva sobre vertederos. Por ello, es probable que se presenten dificultades para acoplar los residuos que se van produciendo a la capacidad finita de las instalaciones de tratamiento y, en consecuencia, se necesitarán más unidades de almacenamiento intermedio. Consulte el BREF sobre almacenamiento, la Directiva Seveso II y las diferentes legislaciones nacionales.

Los líquidos se pueden almacenar en depósitos o en contenedores (por ejemplo, contenedores de vidrio, bidones, grandes contenedores), celdas y edificios de almacenamiento y almacenamientos exteriores (por ejemplo, las aguas residuales). Los sólidos se pueden almacenar en montones, sacos y bolsas, silos y tolvas, y empaquetarse. Los residuos sólidos se pueden guardar en áreas cerradas, como, por ejemplo, edificios cerrados (por ejemplo, con un sistema de filtrado adecuado y un tratamiento de los gases de escape para reducir los olores y las emisiones al aire) y manipularse con grúas, grúas móviles o cintas transportadoras o silos (por ejemplo, silos cilíndricos o paralelepípedos con un transportador helicoidal o cinta rodante para extraer el residuo sólido).

En el momento de la descarga, los residuos se trasladan a su lugar de almacenamiento, que puede consistir en depósitos o embalses para líquidos a granel, tolvas para sólidos y trineos o pedestales y almacenes para contenedores.

Algunos sitios pueden almacenar materias residuales combinadas o puras pendientes de transferencia para su uso en otro proceso.

A menudo, las áreas de almacenamiento constituyen el aspecto más visible de la instalación. Los problemas clave que los operadores deben resolver en relación con el almacenamiento de residuos en la instalación incluyen los siguientes:

- ubicación de las áreas de almacenamiento,
- infraestructura del área de almacenamiento,
- condiciones de los depósitos, bidones, recipientes y otros contenedores,
- control de stock,
- almacenamiento separado,
- medios usados para proteger el entorno y la salud de los trabajadores.

En este documento también se incluyen los contenedores usados para almacenar bidones triturados o los recipientes intermedios para graneles (RIG).

Una consideración importante a tener en cuenta en el almacenamiento y manipulación es la prevención y protección contra incendios.

Los residuos de laboratorio consisten fundamentalmente en sustancias que se encuentran en contenedores de menos de cinco litros de capacidad. Generalmente contienen elementos y compuestos químicos puros procedentes de laboratorios o surgen cuando se despejan sus almacenes. La mayoría de operadores ofrecen un servicio de empaquetado y recogida de residuos de laboratorio.

Normalmente se clasifican y agrupan en bidones (por ejemplo, de 205 litros o de otros tamaños dependiendo de su tratamiento posterior) en edificios designados adjuntos con una ventilación positiva e iluminación antideflagrante o dentro de áreas con techo abierto.

Los depósitos también se usan para almacenar residuos. Esto puede formar parte de una operación de agrupamiento a media escala para asegurar que las cargas de las cisternas se agrupan para completar una carga para su posterior transferencia al siguiente proceso; o ser parte de operaciones de patio de depósitos a gran escala. Esto tiende a tener controles limitados, similares al almacenamiento de combustibles en las instalaciones. Normalmente los depósitos están en lugares abiertos bien afirmados y protegidos. El tipo de almacenamiento aplicado dependerá de la necesidad de homogeneización de la unidad de almacenamiento.

A menudo, el almacenamiento en contenedores también implica procesos de clasificación, que los contenedores usados estén equipados con aparatos de espumado para eliminar las materias flotantes y aparatos de succión para eliminar el sedimento. Si los procedimientos de clasificación están desactivados, el residuo puede someterse a una agitación continua para mantener un estado de homogeneidad.

Las funciones de almacenamiento, tratamiento y postratamiento no están separadas, sino que tienen lugar en el mismo contenedor. Se usa un proceso de tratamiento por lotes.

Capacidad de almacenamiento

Es necesario designar las capacidades de almacenamiento para asegurar de una forma habitual un servicio continuado. Otros problemas a tener en cuenta son el pretratamiento de la producción si su calidad no cumple con las especificaciones requeridas y la frecuencia de envío.

Vaciado de los contenedores

Los residuos de líquidos se aceptan y se lleva a cabo la sedimentación. Los residuos de líquidos se envían en contenedores, vehículos cisterna o vehículos motobomba. Cuando se envían en contenedores, se recogen de la cinta transportadora mediante un dispositivo de manipulación, se transportan a la cubeta receptora preseleccionada y allí se vacían semiautomáticamente. Las partículas sólidas gruesas contenidas se extraen y recogen en contenedores. La fase de los líquidos continúa pendiente abajo y fluye en la cubeta de sedimentación. Las cubetas de sedimentación (8 en total) se seleccionan mediante un sistema de control.

Cuando se envían en cisternas o vehículos motobomba, se conducen al área de vaciado y sus depósitos se conectan al filtro de cribado mediante un tubo. Los residuos líquidos fluyen desde los depósitos a través del tubo hasta el filtro de criba, en donde se eliminan las impurezas gruesas (por ejemplo, guantes y ropas). Los elementos metálicos se eliminan mediante un separador de imán. Después, se transfieren mediante un sistema de tuberías a una cubeta preseleccionada por medio de un sistema de control.

Área de almacenamiento de estantes altos controlada por ordenador para residuos peligrosos

El área de almacenamiento de estantes altos sirve como almacenamiento seguro y área de control de los residuos que se han enviado en contenedores cerrados. Los residuos no empacados no se pueden almacenar. El área tiene 1680 posiciones de almacenamiento en recipientes de 2 compartimentos y está diseñado para 250 transferencias hacia y desde los compartimentos. Para estas transferencias, el área de estantes altos dispone de transportadores de cadena y elevadores de cangilones. Para la prevención contra incendios, el área de recepción tiene extintores fijos que se acoplan con sistemas de señales de alarmas acústicas. Adicionalmente, existen extintores contra incendios portátiles. Desde el área de almacenamiento de estantes altos, los residuos se transfieren a instalaciones individuales en donde se eliminan, recuperan o pretratan para su eliminación o recuperación.

Manipulación de materiales desde una instalación FQ

La manipulación de materiales requiere su correcto empaquetado y seguridad en la carga. Las cantidades pequeñas se empaquetan en unidades fáciles de manejar, como, por ejemplo, botellas o cajas. Las cantidades grandes, en contenedores de, por ejemplo, 100 a 12.000 litros de

volumen de contenido. Antes del tratamiento, es necesario vaciar las unidades/contenedores. Con este fin se necesitan dispositivos como por ejemplo:

- herramientas para abrir,
- dispositivos de sujeción y fijación,
- dispositivos de elevación y rotación.

Para poder limitar la diversidad de dispositivos técnicos y con el fin de asegurar la manipulación, las unidades o contenedores de empaquetamiento deben ser seguras y eficaces. Éstas se combinan con los sistemas. El proceso de vaciado requiere:

- personal experimentado,
- conocimiento sobre los materiales o residuos,
- dispositivos y equipos de seguridad,
- medidas y equipos para el control de emisiones,
- depósitos interceptadores adecuados y fáciles de manejar,
- regulación del destino de las unidades o contenedores vacíos.

Asimismo, se deben vaciar los cuerpos superiores de los vehículos de transporte; esto se hace normalmente por medio de bombas o basculándolos. La experiencia ha demostrado que siempre quedan residuos dentro de las unidades o contenedores o en el cuerpo superior de los vehículos. Independientemente de la utilización posterior que se vaya a hacer, es necesario vaciar y limpiar completamente estos recipientes. La experiencia también demuestra que, a menudo, el vaciado se ve obstaculizado por la sedimentación de componentes sólidos, adhesivos y endurecidos de los residuos. Esto puede hacer que sea necesario, por ejemplo, cuando se vacían los cuerpos superiores de los vehículos cisterna y motobomba, eliminar los componentes endurecidos con herramientas o manualmente. Para facilitar el flujo del proceso es conveniente transportar el material sólido en un contenedor más bajo (placas plegables, guías de deslizamiento, etc.).

Después del vaciado, es necesario limpiar las unidades, contenedores y cuerpos superiores con independencia de su utilización posterior. Puede haber excepciones a esta regla en el caso de que:

- se vayan a desechar las unidades o contenedores y los residuos adhesivos del residuo transportado no supongan ninguna diferencia;
- su utilización posterior sea idéntica a la anterior.

Los residuos que resulten del vaciado, así como los residuos del lavado, se tratan de la misma manera que el residuo, a menos que no sea posible debido a su consistencia. Por ejemplo, los lodos procedentes de la eliminación de separadores de petróleo o aceite se pueden procesar y recuperar parcialmente mediante sencillos procedimientos, mientras que la fase del agua debe someterse a tratamiento físico-químico. El lavado se realiza normalmente con agua. Se puede reforzar el efecto mediante presión (hasta 100 bar), temperatura (hasta 80 °C y vapor), o bien añadiendo disolventes o tensoactivos.

2.1.5 Combinación y mezcla

En principio, los residuos, una vez producidos, deben mantenerse separados de otros residuos. Las razones de ello son que la reutilización o valorización de flujos homogéneos es generalmente más fácil que con flujos de materiales combinados. No obstante, en determinadas circunstancias, también se pueden procesar flujos de diferentes residuos y, algunas veces, incluso mejor si están combinados. En este apartado se exploran las diferentes funciones que se pueden aplicar sobre si se puede permitir mezclar o combinar y en qué condiciones se deberá hacer.

Finalidad

Debido a la naturaleza heterogénea de los residuos, la combinación y mezcla son necesarias en la mayor parte de operaciones de tratamiento de residuos con el fin de garantizar la materia homogénea y estable de residuos que se procesará finalmente. El término «combinación» se usa más para mezclar líquidos que sólidos, a menos que se mezcle un sólido en un líquido. El término «mezcla» se usa más para materiales sólidos y semisólidos (por ejemplo, materiales pastosos).

Determinados tipos de residuos necesitarán una mezcla o combinación previas antes del tratamiento. Por ejemplo, la concentración de componentes de los residuos puede variar considerablemente debido a las diferencias entre las resistencias de los residuos entrantes. Esto resulta particularmente válido en la mayoría de instalaciones de tratamiento comercial. La mezcla puede controlar dichas variaciones hasta unos márgenes que no afecten el rendimiento de los posteriores procesos de tratamiento unitarios. Sin embargo, este problema no se debe confundir con la dilución y ésta es la razón por la que muchas veces se prohíben estos tratamientos (por ejemplo, como lo hacen las Directivas sobre vertederos y sobre residuos peligrosos) en una amplia gama de concentraciones. La combinación y mezcla son procesos que se llevan a cabo debido a que se trata de un requisito técnico de las instalaciones de tratamiento de residuos para garantizar una materia homogénea y estable y no de técnicas para facilitar la aceptación del residuo.

Como se prescribe en la Directiva relativa a los residuos peligrosos 91/689/CEE, no se permiten las operaciones de mezcla y combinación a menos que se establezca explícitamente en la licencia del recolector o procesador. La autoridad competente puede aplicar una excepción al permiso si los establecimientos o empresas llevan a cabo la valorización del residuo y si las autoridades competentes han establecido unas normas generales para cada tipo de mezcla y combinación que establezcan los tipos y cantidades, así como las condiciones en las que se pueden aplicar la combinación y mezcla y si se tiene en cuenta el artículo 4 de la Directiva marco relativa a los residuos estableciendo estas normas generales para los establecimientos y empresas correspondientes. En este caso de excepción, es obligatorio el registro de los establecimientos y empresas con el fin de asegurar que cumplen con las normas generales establecidas. Para la concesión de licencias se aplican los siguientes principios básicos:

- la mezcla de residuos no deberá ocasionar riesgos para la salud humana ni tener efectos adversos para el medio ambiente;
- la mezcla no deberá hacer que ninguno de los residuos mezclados se traten o procesen con un nivel de calidad más bajo que el deseado;
- la mezcla de residuos no deberá producir daños ambientales por la dispersión difusa de sustancias peligrosas para el medio ambiente.

La siguiente elaboración de los principios básicos para la mezcla de residuos se aplica tanto a los residuos peligrosos como a los que no lo son. Los residuos peligrosos se deben mantener separados. Sólo se permite la mezcla si no provocará riesgos para el hombre y el medio ambiente y si no habrá problemas de seguridad debidos a la mezcla en ningún tipo de operaciones (por ejemplo, riesgos de seguridad para los trabajadores, alrededores de la instalación, etc.). El párrafo 3 del artículo 2 de la Directiva relativa a los residuos peligrosos establece que dichas operaciones sólo pueden tener lugar si se ha concedido la oportuna licencia para ello. La licencia puede incluir algunas condiciones, permitiendo que se mezclen los residuos peligrosos mencionados en dicha licencia con otros residuos (peligrosos), preparaciones y otros productos referidos en ella. Está prohibido que la función principal de la mezcla de residuos sea conseguir la dilución de unos productos específicos con el fin de cumplir con normativas menos exigentes. Dentro de los límites de la licencia para mezclar y combinar, el gestor del tratamiento de residuos es responsable de escribir y aplicar las directrices operativas sobre la mezcla y la combinación. En primer lugar, se elaboran los principios básicos para la concesión de licencias. En segundo, se dan los principios y consideraciones para redactar las directrices operativas para mezclar y combinar dados estos límites del permiso.

Principio de funcionamiento

Mezclar dos o varios residuos con el fin de generar sistemáticamente un resultado único.

Flujos de alimentación y salida

Aplicable para residuos sólidos y líquidos. Los resultados también pueden ser en fase sólida o líquida.

Descripción del proceso

Los principios básicos referidos antes en el apartado de finalidad (prevención de riesgos, procesamiento subestándar y prevención de las dispersiones difusas), tienen, como principal objetivo, la protección de la salud humana y el medio ambiente contra las influencias perjudiciales, así como la promoción de la valorización de los residuos dentro de estas condiciones limitadoras. Para poder lograr un alto nivel de protección y una supervisión eficaz, es necesario traducir estos principios básicos generales en procedimientos de licencias, en criterios operativos sobre la base de lo que se puede determinar claramente si se permite la mezcla o combinación de residuos. La siguiente elaboración de principios básicos tiene carácter normativo:

- se debe evitar la mezcla de sustancias que reaccionan mutuamente con violencia (calor, fuego, formación de gases) o las sustancias explosivas (explosiones). También es necesario evitar que la mezcla eleve los riesgos para la salud humana y el medio ambiente, tanto durante la operación de mezclado en sí misma, como durante el posterior proceso de tratamiento. A efectos de la licencia, esto quiere decir que la política de los poseedores de licencia con relación a la aceptación y procesamiento se elaborará de forma que, antes de combinar los residuos, se valorará si dicha combinación puede tener lugar de forma segura. Ello se puede lograr llevando a cabo pruebas de compatibilidad antes de la mezcla o combinación para cualquier fin con cualquier tipo de residuo;
- se debe evitar que la mezcla de residuos provoque un nivel más bajo de procesamiento que el mejor nivel posible de gestión del residuo o que conduzca a una gestión que no sea ambientalmente sana. Esto quiere decir, por ejemplo, que si una operación de valorización es el estándar mínimo del procesamiento de un flujo de residuos, no se aceptará la mezcla de dichos residuos con otros con el fin de llevar dicha mezcla a cualquier vía de eliminación. Por ejemplo, no se permitirá la mezcla de residuos líquidos o residuos clínicos con otros residuos con el fin de poder enviarlos al vertedero. No se permitirá la mezcla de residuos con contenido de COP por encima de su nivel admisible (como se definió en los Tratados de Basilea y Estocolmo) con otros materiales únicamente con el propósito de generar una mezcla con un contenido de COP por debajo del definido, puesto que no es seguro para el medio ambiente;
- la mezcla de residuos no deberá producir la dispersión difusa no deseada de sustancias peligrosas para el medio ambiente. Los efectos de la dispersión difusa se determinan por el tipo de concentraciones de sustancias ambientalmente peligrosas en combinación con la vía de procesamiento a elegir, las emisiones que se producen y la calidad y finalidad de las sustancias residuales liberadas. Se deberá valorar en conjunto qué consecuencias negativas se producen como resultado del procesamiento de las sustancias peligrosas en relación con las emisiones en el suelo, el agua, el aire o en sustancias residuales y cómo se comparan estas consecuencias negativas con los efectos ambientales de otra vía de procesamiento. Esta valoración también deberá tener en cuenta el carácter cíclico de la futura reutilización.

En el caso de los residuos sólidos, éstos se deben mezclar con una grúa, un mezclador cerrado o un mezclador cerrado con basculador y un eje con cuchillas. Normalmente las operaciones de combinación implican grandes volúmenes, es decir, la descarga de cisternas en depósitos.

Usuarios

Por lo general, la combinación y mezcla se aplican sólo cuando la calidad y los valores analíticos de las entradas de residuos son inferiores o iguales a los valores de aceptación de la instalación de tratamiento de la producción planificada. Estas operaciones tienen lugar en todas las actividades del tratamiento de residuos (tratamiento biológico, preparación de combustibles,

tierras contaminadas, aceites usados, etc.) y, a veces, son bastante específicas para cada actividad de tratamiento. Algunos de estos problemas también se incluyen en las secciones individuales de cada actividad de tratamiento de residuos.

2.1.6 Desmantelamiento

Finalidad

La finalidad del desmantelamiento es devolver las instalaciones, al ceder la licencia de tratamiento de residuos, a una condición adecuada para el uso posterior seleccionado. La importancia de un cierre correcto es lo suficientemente elevada como para que sea necesario el desarrollo de un plan de cierre, que proporcionará y documentará la planificación del cierre final de las instalaciones antes del comienzo de las operaciones. Esto también concuerda con una valoración del ciclo de vida de las instalaciones planificadas.

Principio de funcionamiento

Para el desmantelamiento, normalmente el operador necesita demostrar que después de éste, el estado de las instalaciones no provocará, o será probable que provoque, ninguna contaminación ambiental.

Los planes de cierre tienen que presentar un conjunto de acciones y métodos claros y ordenados que se seguirán en el momento de la cesión de todas las operaciones de la instalación. Es necesario diseñar unos pasos para asegurar que la instalación cerrada tiene un riesgo mínimo para la salud y el medio ambiente y que requiere un mantenimiento mínimo después de su clausura.

Flujos de alimentación y salida

Sin aplicación.

Descripción del proceso

La extensión del desmantelamiento/restauración dependerá de los tipos de materiales aceptados, el diseño de la instalación y el uso posterior seleccionado.

El cese de la aceptación de residuos en la instalación inicia normalmente una revisión de la licencia de residuos. Esta revisión permite renunciar o modificar la licencia para reflejar el cambio en las actividades.

Los planes de cierre necesitan asegurar que hay fondos disponibles para cerrar la instalación incluso si el propietario de ésta inicia procedimientos de bancarrota. Esto puede asegurarse mediante una fianza, garantía corporativa u otro instrumento financiero. El importe económico se determina basándose en un coste estimado que se prepara como parte del plan de cierre. Por ejemplo, el cálculo del coste puede ser igual a los costes máximos del cierre de todas las unidades de gestión de residuos que se hayan activado en la instalación.

El cierre de unas instalaciones de almacenamiento o tratamiento necesita la eliminación de todos los residuos que queden en otras instalaciones. También se deberá descontaminar todo el equipo y estructuras que hayan estado en contacto con el residuo. Esto puede suponer la eliminación de las bases de hormigón usadas para sujetar los contenedores de residuos, así como las tierras contaminadas en las que haya habido fugas.

Usuarios

Aplicable para todo el sector de tratamiento de residuos.

2.1.7 Tratamiento de pequeñas cantidades

Finalidad

El objetivo es identificar los diferentes tipos de residuos para su correcto tratamiento.

Principio de funcionamiento

Las sustancias que se van a tratar se clasifican manualmente y se empaquetan, trituran si es necesario, acondicionan y transfieren a instalaciones de eliminación internas o externas.

Descripción del proceso

El sistema se divide en tres partes separadas espacialmente:

- clasificación de los productos químicos. Se lleva a cabo con una cabina de clasificación y un dispositivo de aspiración para la separación de los productos químicos de laboratorio destinados a las diferentes vías de procesamiento (por ejemplo, reciclaje, eliminación — incineración— y depósito en vertidos enterrados);
- tratamiento de paquetes para el vaciado de contenedores de líquidos con un volumen de 0,1 a 200 l. Los pequeños volúmenes se combinan con el fin de crear grandes lotes (disolventes o ácidos). Éstos se eliminan mediante incineración posterior a altas temperaturas o se recuperan en la instalación interna de tratamiento físico-químico. Una instalación posterior aplasta los contenedores vacíos;
- tratamiento de los productos de protección de la instalación, sustancias reactivas y con olor fuerte en una cabina especial.

Usuarios

Tratamiento de residuos peligrosos procedentes del consumo doméstico privado, universidades, laboratorios y empresas comerciales.

2.1.8 Reducción de tamaño

Finalidad

Adaptar la granulometría de los residuos sólidos para otros tratamientos o para extraer el residuo difícil de bombear o decantar. Reduce el tamaño de las partículas.

Principio de funcionamiento

Las técnicas usadas en las instalaciones son el triturado, cribado, fraccionamiento, acondicionamiento y la confección. Se usan trituradoras de movimiento lento, martillos y trituradoras específicas.

Flujos de alimentación y salida

En el sistema se introducen cubos y botes aerosoles. Los gases se tratan en una instalación de limpieza y los componentes líquidos y sólidos se eliminan o se envían para su valorización.

Descripción del proceso

A continuación se describen algunos ejemplos:

Trituradora de cubos

La instalación consiste en una trituradora para el desmenuzamiento de cubos vacíos, medio vacíos y llenos con tamaños que van de 1 a 1000 litros. El sistema de alimentación funciona con un cargador de ruedas electrónico. La trituradora en sí se coloca en un canal de presión a prueba de sobretensiones de 12 m de alto con zona de descarga en la parte superior. Los cubos se transportan mediante el cargador de ruedas eléctrico a través de la puerta abierta de la trituradora. Después, la puerta se cierra y comienza automáticamente el proceso de triturado. En el siguiente paso, el material triturado cae en un depósito que, tras llenarse, se transporta desde el canal hasta los siguientes pasos del procesamiento. Los gases de escape liberados se tratan en una instalación regeneradora de poscombustión. Otros dispositivos de protección son una chapa de alta densidad de polietileno de doble capa controlada por vacío situada en la parte inferior y un flujo automático de nitrógeno y agua en el canal cerrado.

Trituradora de botes aerosoles

La instalación de tratamiento consiste en una trituradora para aplastar botes aerosoles, dos unidades de condensación y un depósito de recogida. El depósito de recogida tiene un dispositivo de llenado para los gases condensados y calentados (temperatura exterior). Este depósito también tiene un dispositivo de suministro de nitrógeno para enfriar el condensador y para el equipo de inertización. Otras partes de la instalación son un depósito de recogida para los disolventes residuales líquidos y un cubo para la chatarra. La trituradora aplasta los botes aerosoles por lotes. La trituradora funciona en un entorno de nitrógeno (inerte) y es hermética al gas. Los gases y otros agentes activos que todavía pueden contener los aerosoles se liberan dentro de la trituradora. Estos gases liberados (principalmente propelentes) rebosan por la unidad de condensación y se condensan. El condensado se guarda en un depósito de recogida de gases. En el siguiente paso los gases se introducen en cilindros de gas comprimido y se transportan a una instalación de incineración para residuos peligrosos. Los gases sin condensar se transportan a una instalación regeneradora de limpieza de aires de escape, en la que se combustionan. Los residuos sólidos procedentes de la trituración (chatarra) se separan de las sustancias líquidas. Los componentes líquidos y sólidos se descargan separadamente por diferentes esclusas. Los componentes sólidos, por ejemplo, fracciones de metal, se envían para su valorización o eliminación. Los componentes líquidos, por ejemplo, pintura y lacas, se guardan temporalmente en un depósito y después se decantan en cubos de 800 litros. Estos cubos se transportan a una instalación de combustión para residuos peligrosos en la que el residuo líquido se usa para la combustión auxiliar (reciclaje térmico).

Usuarios

Instalaciones para el tratamiento de cubos y botes aerosoles. Preparación de residuos que serán utilizados como combustible. Se aplica a diferentes tipos de residuos como bidones de plástico o de metal, filtros de aceite, residuos sólidos municipales, residuos sólidos a granel, madera residual, aerosoles y vidrio.

2.1.9 Otras técnicas comunes

Este apartado contiene técnicas genéricas usadas en el sector del tratamiento de residuos. Principalmente son tratamientos mecánicos. Normalmente se usan como pretratamientos, pero algunos también se usan como tratamientos posteriores (por ejemplo, las cribas). Se muestran en la tabla 2.3, que también indica la finalidad de los tratamientos y dónde se usan.

Técnica	Finalidad	Usuarios
Limpieza	Elimina la contaminación que de otro modo prohibiría que se recuperaran los materiales residuales	Condensadores y transformadores de PCB
Reempaqueado (por ejemplo, embalaje)	Debido a la naturaleza disgregada de algunos tipos de residuos, a veces es necesario compactarlos para facilitar su uso en el siguiente proceso. Se usa maquinaria de presión para compactar el residuo con determinada forma física	Se usa para los residuos sólidos municipales que se emplearán como combustible y para embalajes de plástico, papel y metal. Normalmente el tamaño y la forma del embalaje se optimizan para su transporte y reutilización
Tamizado		
Sedimentación	Los componentes sólidos que se encuentran dentro de los residuos líquidos se separan y los residuos se pretratan para su posterior procesamiento	Preparación de combustible residual líquido
Cribado	Se usa para separar las partículas grandes. Se emplean cribas vibrantes, cribas estáticas y cribas giratorias	Preparación de residuos que serán utilizados como combustible
Clasificación y rascado		

Técnica	Finalidad	Usuarios
Lavado	Uno de los fines del lavado puede ser permitir la reutilización de bidones en las instalaciones o para venderlos a otras que los volverán a utilizar. Las operaciones de lavado de bidones a menudo no incluyen un tratamiento real que no sea el lavado y la sedimentación. Varios reprocesadores lavan los filtros de aceite y proporcionan una parte de metal semilimpio para su reciclaje	La mayoría de instalaciones de tratamiento incorporan un equipo de limpieza de camión cisterna para permitir la eliminación de residuos de los barriles del vehículo cisterna. También se puede aplicar a los depósitos y los bidones de almacenamiento. Instalaciones de tratamiento FQ

Tabla 2.3: Técnicas comunes aplicadas en el tratamiento de residuos [86, GTT, 2003], [122, Eucopro, 2003], [150, GTT, 2004], [156, VROM, 2004], [157, UBA, 2004]

2.1.10 Ejemplos de instalaciones de tratamiento de residuos en las que sólo se aplican las técnicas comunes

Algunas actividades de tratamiento de residuos son muy específicas y están particularmente relacionadas con el tipo de residuo que se procesa. A continuación se citan algunos ejemplos:

Limpeza de transformadores que contienen PCB

Las tecnologías para la limpieza de transformadores se pueden dividir en tres categorías principales:

- drenado del aceite con PCB procedente del transformador, seguido de la descontaminación del aceite y la reinyección del producto limpiado en el transformador para su reutilización;
- extracción del aceite con PCB mediante lavado con disolvente del transformador, seguido del desmontaje y posterior descontaminación de los componentes para permitir el reciclaje de los componentes metálicos;
- después del adecuado pretratamiento, los aceites con PCB se tratan con hidrógeno a temperaturas elevadas. Aquí los transformadores no se recuperan como tales.

Un ejemplo del segundo caso es el siguiente: las carcasas de los transformadores usados se limpian mediante un lavado de tricloroetileno (TCE). Aquí la carcasa se llena con disolvente y se deja durante un período largo de tiempo antes de que el disolvente se reponga con TCE nuevo. Esta operación se repite (normalmente tres veces) hasta que la carcasa pasa el requisito de la «prueba de la torunda». Durante la operación de limpieza, la carcasa del transformador se deja abierta al aire o se cubre ligeramente con una chapa de acero. Como consecuencia, la actividad produce unas pérdidas evaporadas de TCE al aire.

Normalmente, esta actividad se lleva a cabo en lugares especializados, que limpian los transformadores contaminados con PCB y agrupan los aceites también contaminados con PCB. Sus residuos, aceites, bidones, aguas de limpieza y lodos de los disolventes de limpieza, se envían fuera para su incineración.

Las carcasas y los bobinados limpios de los transformadores se envían para recuperación después de una limpieza completa con TCE.

Limpeza de condensadores que contienen PCB

Los condensadores son similares a los transformadores en que están hechos de un núcleo activo contenido en una carcasa metálica. Sin embargo, el núcleo activo no es un bobinado de cobre, sino que está formado por rodillos entretrejidos de papel de aluminio fino separados por delgadas películas de papel o plástico. Las técnicas usadas para la limpieza de estos condensadores son:

- se quita la carcasa del condensador y se descontamina mediante un lavado con disolvente; éste es un proceso de descontaminación directa puesto que la carcasa no es porosa. El núcleo se incinera;
- la posibilidad de ir un paso más allá y tratar el núcleo después de su extracción de la carcasa. Este paso de descontaminación implica normalmente la trituración del núcleo y el tratamiento con disolvente. Esto permite reducir el nivel de PCB residual;
- la tecnología que permite la mayor cantidad de reciclaje es similar a las anteriores, pero también trata el residuo de aluminio, plástico y papel mezclados para separar dichos componentes mediante lavado con disolvente. El metal de aluminio se puede volver a utilizar después; el único componente que se deberá eliminar son los trozos de papel y plástico.

Trituradores de aerosoles

El destructor de aerosoles puede admitir rechazos de fabricación o materiales procedentes de los bancos de recogida. Normalmente se conocen los contenidos potenciales. Éstos pueden incluir gases propelentes (como podrían ser GLP, butano, propano, éter dimetílico o HCFC) y los ingredientes activos. Una proporción de aerosoles están vacíos mientras que otros pueden todavía contener determinados gases propelentes, aunque no se puede cuantificar el número. Otros rechazos pueden haber fallado en las pruebas de presión y probablemente perderán el propelente de camino a la unidad destructora. Cualquier propelente que todavía quede en los cilindros de los aerosoles constituye un riesgo de accidente durante el tratamiento.

Al menos una instalación en Francia se encarga del tratamiento de los aerosoles.

Triturado de vidrio

El cristal de los parabrisas se lamina con butirato de polivinilo, que se debe eliminar en un proceso preliminar de triturado y enviarse al vertedero. La operación de triturado de vidrio trata el vidrio municipal y el de la industria. Normalmente las instalaciones no admiten vidrio revestido procedente de equipos electrónicos.

Procesamiento de tubos y lámparas fluorescentes

Sirve para separar el mercurio de los tubos. Actualmente esto constituye una actividad diminuta en algunos países, pero las operaciones existentes están experimentando ahora un incremento de la demanda de sus servicios. En este momento, la mayoría usan un proceso de triturado. Sin embargo, otro proceso recientemente desarrollado consiste en un sistema sin triturado con un 99 % de recuperación del mercurio.

Tratamiento de residuos que contienen CFC

En la UE es obligatorio recoger el CFC para su eliminación. Es habitual que el aceite lubricante recogido del drenaje de los refrigerantes también se trate para eliminar el CFC residual antes de valorizarse. Posteriormente los CFC se pueden incinerar. Son pocas las instalaciones de incineración en la UE que tienen valorización de HF.

2.2 Tratamiento biológico de los residuos

[31, Greenpeace, 2001], [32, DETR y DTL, 2001], [33, ETSU, 1998], [51, Inertec, et al., 2002] [53, LaGrega, et al., 1994], [54, Vrancken, et al., 2001], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [59, Hogg, et al., 2002], [80, Petts y Eduljee, 1994], [81, VDI y Dechema, 2002], [86, GTT, 2003], [114, Hogg, 2001], [117, DG Medio Ambiente, 2001], [132, UBA, 2003], [138, Lanfranchi, 2003], [150, GTT, 2004].

Los tratamientos biológicos usan microorganismos vivos para descomponer los residuos orgánicos en agua, CO₂ y simple materia inorgánica o en organismos más simples como aldehídos y ácidos. Existen varios tratamientos biológicos que se usan para el tratamiento de los residuos, aunque no todos se incluyen en el ámbito de este documento. La tabla 2.4, junto con la información que se incluye en el apartado Ámbito, trata de aclarar qué tratamientos se incluyen en el presente documento.

Tratamiento biológico	Breve descripción	¿Incluido en este documento?
Lodos activados	Descompone los residuos orgánicos en agua por la exposición de éstos al crecimiento biológico. El agua se recicla y airea para facilitar la acción biológica y se genera un lodo. Dos sistemas aplicados comúnmente: sistemas de crecimiento suspendido y sistemas de crecimiento adjunto	Incluido como tratamiento de aguas residuales (consulte el apartado 2.6)
Lagunas aireadas	Grandes lagunas aireadas que contienen altas concentraciones de microorganismos. La laguna se airea para estimular el crecimiento bacteriano y la descomposición del residuo	Incluido como tratamiento de aguas residuales (consulte el apartado 2.6)
Compostaje	Los montones «fabricados» de residuos se crean para estimular la descomposición biológica de los sólidos orgánicos, lo que produce una sustancia húmica valiosa como acondicionador de suelos	No se incluye en este documento
Digestión aerobia	Reducción del contenido orgánico del residuo. Se aplica al residuo sólido, aguas residuales discontinuas, biorremediación y a lodos y tierras contaminadas con aceite	Tratamiento biológico mecánico (consulte los apartados 2.2.2 y 2.2.3) En este documento sólo se incluye la biorremediación ex situ.
Digestión anaerobia	Descompone la materia orgánica en recipientes cerrados en ausencia de aire. Utiliza dos formas de bacteria: formadora de ácido y formadora de metano. Se aplica a residuos sólidos-líquidos, aguas residuales altamente contaminadas (por ejemplo, compuestos clorados), biorremediación y en la producción de biogás para usar como combustible	Consulte los apartados 2.2.1 y 2.2.3 Sólo se incluye la biorremediación ex situ.

Tabla 2.4: Tratamientos biológicos de residuos

2.2.1 Digestión anaerobia

Finalidad

La digestión anaerobia se usa en la industria para manipular residuos con una DQO muy alta y como proceso de tratamiento para los lodos del alcantarillado después del tratamiento biológico de las aguas residuales. La producción de biogás procedente de la digestión anaerobia controlada es una de las principales ventajas del proceso.

Principio de funcionamiento

La digestión anaerobia implica la descomposición bacteriana de materia orgánica en ausencia (relativa) de oxígeno. Una de las limitaciones más importantes del proceso de digestión

anaerobia es su incapacidad para degradar la lignina (uno de los componentes principales de la madera). Ésta es la diferencia con el proceso de biodegradación aerobia.

Flujos de alimentación y salida

Los procesos anaerobios se pueden usar para tratar directamente residuos líquidos, el lodo biológico generado en una etapa aerobia anterior, sólidos y fangos orgánicos. La inclusión de otras materias, como lodos del alcantarillado, altera el digestato resultante. Sin embargo, es importante observar que la mezcla de residuos domésticos con estas materias puede mejorar tanto los aspectos ambientales como los económicos del proceso y que ya ha sido adoptada en varias instalaciones (particularmente, en la codigestión con estiércoles y abonos en instalaciones basadas en agricultura a pequeña escala).

En el proceso, el carbono procedente de la materia orgánica entrante se convierte principalmente en metano y dióxido de carbono, y después se libera como biogás, que se puede, por ejemplo, quemar para generar energía o usarse como combustible para reducir las emisiones de COV. La proporción de metano a dióxido de carbono variará con el flujo de residuo y la temperatura del sistema. El sistema necesita tener una alimentación equilibrada para maximizar la producción de metano. Normalmente las instalaciones se centran en residuos ricos en carbono que harán uso del nitrógeno disponible (y probablemente del extra requerido a través de la bioalimentación).

El proceso de digestión anaerobia conduce a la creación de metano, con una producción teórica de 348 Nm³/toneladas de DQO. En general, la digestión anaerobia produce entre 100 y 200 Nm³ de DQO por tonelada de residuo municipal biológico procesado. La generación de biogás es muy sensible a la materia prima; una instalación puede encontrar volúmenes que van de 80 a 120 Nm³ por tonelada dependiendo de la entrada de residuos. El biogás se puede usar para producir electricidad (para el consumo interno o para exportar), se puede quemar en calderas para producir agua caliente y vapor con fines industriales y también se puede usar como combustible alternativo en vehículos pesados y ligeros. El biogás tiene una composición típica de 55 – 70 % de metano, 30 – 45 % de dióxido de carbono y 200 – 4000 ppm de sulfuro de hidrógeno.

El residuo semisólido, conocido como « digestato », se trata después normalmente a través de digestión aerobia. Algunos países permiten la aplicación directa del digestato en granjas en determinadas circunstancias (por ejemplo, Suecia y Dinamarca). El riesgo de la aplicación del digestato sobre el suelo, debido principalmente a los metales pesados, se controla normalmente mediante la legislación nacional de los diferentes países de la UE. Así como el producto principal del proceso, es decir, un digestato sólido, también se encuentran disponibles pequeñas cantidades de licor que se puede deshidratar para proporcionar fertilizante líquido o enviarse a una planta de tratamiento de aguas residuales (a menudo seguido de algún tipo de separación de los sólidos).

Descripción del proceso

Las variables del proceso principal son los métodos de contacto del residuo con la biomasa (microbios), el contenido en humedad del residuo (por ejemplo, líquido, lodos o sólido) y el método y grado de aireación. Normalmente la digestión anaerobia implica las siguientes etapas:

Pretratamiento mecánico

Con el fin de mejorar el proceso de digestión, los materiales como plásticos, metales y componentes con un tamaño excesivo se eliminan del residuo que se va a tratar. La separación se puede llevar a cabo en condiciones húmedas o secas. A continuación se usa otro proceso de reducción de tamaño para crear un material más homogéneo que ayude a la fermentación y facilite el procesamiento. La reducción de tamaño se puede realizar con máquinas roscadoras, trituradoras, molidoras, de tambores o de pulpación.

Digestión

Existen varias técnicas diferentes que se usan para efectuar la digestión. Normalmente se distinguen en función de la temperatura de funcionamiento (las instalaciones termófilas

funcionan a alrededor de 55 °C, entre 50 y 65 °C, y las mesofílicas alrededor de 35 °C, entre 20 y 45 °C) y el porcentaje de materia seca de los materiales (por ejemplo, los sistemas secos con un 30 a 40 % de materia seca y los sistemas húmedos con un 10 a 25 %). En general, cuanto más alta es la temperatura, más rápido es el proceso, aunque el proceso termofílico puede ser más difícil de controlar y necesitará más biogás para calentar con el fin de mantenerlo a la temperatura requerida. En la tabla 2.5 se muestran algunas tecnologías comunes que se encuentran actualmente disponibles.

Técnica	Descripción	Entrada
Paso húmedo único	El residuo sólido se hace lodo con el agua del proceso para proporcionar un material diluido para la alimentación del digestor del depósito de mezclado	El proceso se puede usar sólo para RSM, aunque el proceso húmedo se presta para la codigestión con materiales diluidos, como abonos animales y residuos orgánicos industriales
Paso húmedo múltiple	El residuo sólido se convierte en lodo y se fermenta por las bacterias hidrolíticas y fermentativas para liberar los ácidos grasos volátiles que después se convierten en biogás en un digestor anaerobio de aguas residuales industriales de alto rendimiento	El sistema se presta para la digestión de los RSM y para el residuo orgánico húmedo procedente de los procesadores de comida
Seco continuo	El recipiente de digestión está continuamente alimentado con un material con el 20 – 40 % de materia seca a través de una carga por lotes. En las dos variantes de flujo mezclado y uniforme, el equilibrio de calor es favorable para la digestión termofílica	
Seco por lotes	Se inocula un lote con el digestato desde otro reactor y se deja que digiera naturalmente. El lixiviado se hace recircular para mantener el contenido de humedad y redistribuir la materia de metano por todo el recipiente	
Secuencia de lotes	Esencialmente una variante del proceso por lotes en seco en la que el lixiviado se intercambia entre lotes establecidos y nuevos para facilitar el arranque, la inoculación y eliminación de los materiales volátiles del reactor activo. Después de que se haya establecido la digestión, el digestor se desacopla del lote establecido y se acopla a un nuevo lote en otro recipiente	
Biorreactor de montones		

Tabla 2.5: Tecnologías de digestión anaerobia [53, LaGrega, et al., 1994], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [59, Hogg, et al., 2002]

Usuarios

Los digestores anaerobios se usan actualmente para los residuos municipales (específicamente los biorresiduos separados en origen), pero también han sido probados para la eliminación de residuo peligroso. En algunos digestores anaerobios de las instalaciones de tratamiento de alcantarillado, la capacidad sobrante se está usando para diversos residuos orgánicos industriales no peligrosos. La digestión anaerobia de los RSM ha estado comercialmente disponible durante aproximadamente 10 años y se usa en Alemania, Países Bajos y Dinamarca. Existen proyectos de desarrollo en España, Portugal y Bélgica y se usa de un modo limitado en otros países como Suecia, Reino Unido y Francia.

2.2.2 Tratamiento mecánico-biológico

Finalidad

El tratamiento mecánico-biológico (TMB) está normalmente diseñado para valorizar materiales para uno o más fines y para estabilizar la fracción orgánica de los residuos. Las ventajas prácticas de las instalaciones de TMB son, sobre todo, la reducción de:

- los volúmenes de residuos,
- el contenido de materia orgánica del residuo, que se envía para su eliminación final (vertedero o incineración).

Otra finalidad del TMB es la división de los materiales para otros procesamientos (por ejemplo, la preparación de combustibles residuales sólidos). La digestión biológica tiene como objetivo reducir el peso y dejar inerte cualquier materia orgánica biológicamente activa (normalmente se conoce como «residuo estabilizado»). Los valores típicos de la pérdida combinada de agua y materias biodegradables pueden estar entre el 20 y el 35 %, dependiendo principalmente del momento en que se produzca el tratamiento. Se pueden lograr otras reducciones del volumen de residuos que va a los vertederos por la separación mecánica de la producción, pudiendo llegar a ser finalmente más del 60 %.

Principio de funcionamiento

Las instalaciones de TMB reducen significativamente la humedad extrayendo, reduciendo y estabilizando el contenido orgánico del residuo. Estos tratamientos implican una separación mecánica de los residuos, un tratamiento biológico (digestión anaerobia o aerobia, o ambas) de la fracción orgánica y una posterior separación mecánica, si es necesario.

El TMB tiene que conducir a una reducción de los contenidos de sustancias orgánicas biodegradables, el volumen, contenido en agua, el potencial de formación de gases y la actividad de respiración de los residuos, así como obtener una mejora importante en el comportamiento de la lixiviación y la sedimentación.

Flujos de alimentación y salida

En principio se pueden aceptar muchos tipos de materiales residuales en las instalaciones de TMB. Los materiales descompuestos y digeridos en la etapa biológica incluyen el papel y el cartón, materias orgánicas de verduras y de la cocina y el contenido orgánico de los pañales, embalajes, materiales textiles, algunos tipos de lodos de alcantarillado, etc. Generalmente sólo entran en la instalación residuos mezclados y sin clasificar. Sin embargo, algunas legislaciones comunitarias y alteraciones de los procesos de tratamiento excluyen o restringen algunos tipos de residuos. Algunos ejemplos son los residuos peligrosos, residuos para los que es obligatorio algún tratamiento especial debido a la legislación comunitaria (por ejemplo, la Regulación [CE] N° 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo del 3 de octubre de 2002 que establece las normas de salud relativas a los subproductos animales que no están destinados al consumo humano), residuos para los que un tratamiento biológico no es apropiado y residuos que provoquen la inhibición de la actividad biológica.

La producción de las instalaciones de TMB se reduce enormemente en peso y se estabiliza (las emisiones que liberan los productos comparadas con las del material no tratado podrían reducirse aproximadamente entre el 90 y el 98 % en condiciones de vertido controlado). Estas cifras son muy variables y dependen en gran medida de cómo se calcule la reducción de las emisiones (por ejemplo, la generación de gas y la actividad de respiración) y normalmente pueden tener importantes variaciones en cuanto a la calidad. En algunos países, los residuos salientes se pueden usar como recubrimiento de vertederos si la contaminación es lo suficientemente baja (compost de grado bajo, compost gris o residuo biodegradable estabilizado) o se puede depositar en vertederos. La calidad de los residuos de salida producidos generalmente no es aceptable para un uso extendido debido a los contaminantes relacionados tanto con el contenido inerte (vidrio, plástico, etc.) como con el contenido en metales pesados que surge de los otros residuos que entran en el flujo (baterías, etc.). Las otras

producciones son fracciones combustibles y materiales reciclables (por ejemplo, metales, plásticos, etc.).

Descripción del proceso

Las instalaciones de TMB son muy flexibles y se pueden construir de forma modular. La fase de tratamiento mecánico implica la separación y acondicionamiento de los residuos. Los procesos que pueden estar relacionados son:

- abrir bolsas de basura (cuando sea necesario) (por ejemplo, trituradoras);
- extracción de componentes no deseados que puedan obstruir el posterior procesamiento (por ejemplo, separadores de metales);
- optimización del tamaño de las partículas de cara al siguiente procesamiento (por ejemplo, mediante cribas o trituradoras);
- separación de materiales biodegradables de los flujos inferiores del cribado primario para que se puedan enviar al proceso de tratamiento biológico (por ejemplo, mediante cribas);
- separación de materiales con un poder calorífico alto, como materias textiles, papel y plásticos, de los flujos superiores del cribado primario para que se puedan enviar para su uso en la producción de combustible. Igualmente, separación de aquellos materiales válidos para una posterior recuperación (por ejemplo, mediante separación por aire);
- homogeneizar materiales destinados al tratamiento biológico.

Aparte de estos elementos, la instalación puede incluir equipos para la recuperación de metales y para la extracción de partes de mineral. Las permutaciones relativas al diseño de una instalación de TMB son muchas y variadas. Algunas instalaciones están diseñadas para separar y tratar biológicamente los residuos procedentes de los RSM antes de que vayan al vertedero. En la figura 2.6 se muestra un esquema de un proceso de TMB.



Figura 2.6: Representación esquemática de las entradas y salidas de un tratamiento mecánico-biológico

Nota: Las flechas marrones representan materiales residuales

Las flechas verdes representan salidas procesadas

El tratamiento mecánico se puede llevar a cabo antes o después del tratamiento biológico

[17, Eunomia Research & Consulting, 2002], [150, GTT, 2004]

Existen dos tipos de sistemas: encapsulados y alojados. Los *sistemas encapsulados* (contenedor, túnel) se operan normalmente solamente bajo presión con aire circulante. El control se ejerce a través de los parámetros de temperatura y contenido de oxígeno del aire circulante. El calor se debe sacar del sistema enfriando el aire circulante. El condensado que se crea se puede usar para mojar los montones o se puede eliminar como agua residual.

Los *sistemas alojados* (proceso de trasladar los montones) funcionan tanto con presión como con succión; en algunas instalaciones se usan alternativamente ambos métodos de aireación. Los sistemas de aire circulante sólo son posibles en cierta medida en los sistemas alojados. En la operación de succión, resulta viable al menos la reutilización repetida del aire de escape de los montones. El calor generado sólo se puede sacar a través de la evaporación del agua y el aire de escape. Además del control específico de la aireación, la renovación periódica de la materia degradada biológicamente tiene una importancia decisiva para el progreso del tratamiento biológico y sirve para:

- mezclar el material y hacer nuevas superficies accesibles para los microorganismos,
- activar la degradación biológica,
- minimizar los tiempos de degradación biológica,
- humedecer los montones de forma uniforme y compensar las pérdidas por evaporación,
- compensar la pérdida de volumen de la degradación biológica,
- sacar el calor de los montones.

Así se optimiza el proceso biológico y las capacidades del tratamiento biológico existente se utilizan de forma rentable. En las instalaciones de TMB con tratamientos biológicos cuasidinámicos de acuerdo con el proceso de los montones en movimiento o el proceso de túnel, la renovación se produce normalmente a intervalos semanales. Algunos procesos biológicos requieren dos ciclos de regeneración por semana durante las tres primeras semanas. Después de este período, el material se regenera cada cinco o siete días.

Usuarios

El tratamiento mecánico-biológico es una herramienta para el pretratamiento de residuos antes de su vertido o para la preparación de residuos sólidos (normalmente residuos sólidos municipales) que se usarán como combustibles. Aunque el compostaje de residuos mezclados se está volviendo menos popular, actualmente todavía se utiliza en Grecia, España y Portugal, mientras que en Italia, Alemania y Austria se está «convirtiendo» progresiva o totalmente al TMB de los residuos. Estos tipos de tratamientos también están emergiendo en los Países Bajos y Bélgica. Actualmente hay un gran interés por esta tecnología en el Reino Unido, en donde se están construyendo algunas instalaciones y realizando pruebas de dichas nuevas tecnologías con el patrocinio del gobierno.

Estas instalaciones tienden a tener grandes capacidades debido a que tratan grandes volúmenes de residuos mezclados. Una capacidad media de 50 a 100 kt/año resulta bastante normal, aunque pueden llegar a tener 700 kt/año, como es el caso de Milán en Italia, o también tan sólo 7 kt/año. Al menos existen cuatro ejemplos en Europa cuya finalidad es lograr la recuperación completa de los RSM en forma de materiales reciclados y recuperación de energía.

2.2.3 Tratamientos biológicos aplicados a tierras contaminadas

Finalidad

Reducir la contaminación del suelo.

Principio de funcionamiento

La degradación aerobia y anaerobia de contaminantes en las tierras excavadas.

Flujos de alimentación y salida

Los tipos de contaminación a tratar son contaminantes biodegradables, combustibles (gasolina, keroseno, gasóleo, aceites de calefacción, combustibles pesados), aceite mineral, aceites residuales y aceites orgánicos pesados. Los principales productos de este tipo de tratamiento son tierras excavadas descontaminadas.

Descripción del proceso

La ausencia de oxígeno es el principal factor limitador de la biodegradación de los contaminantes de la tierra. Por ello se han desarrollado muchos procesos diferentes para optimizar la oxigenación de las tierras. Los diferentes tratamientos biológicos varían con las técnicas de aireación empleadas. Existen dos tipos de procesos: in situ y ex situ.

Biodegradación in situ

La biodegradación in situ es el término que se usa para los procesos de tratamiento biológico que se llevan a cabo en el lugar original de donde es el suelo contaminado. Dichos procesos no se incluyen en este documento.

Biodegradación ex situ

La biodegradación ex situ es el término general que se usa para los procesos de tratamiento en los que la tierra o los lodos contaminados se excavan y remedian mediante procesos biológicos. La tecnología de biorremediación ex situ implica en la mayoría de casos una biorremediación en fase de lodos en la que se crea un fango acuoso combinando la tierra o lodo con agua y después se biodegradan los contaminantes en un reactor autónomo o en una laguna recubierta. La biodegradación ex situ también abarca la biorremediación en fase sólida, como un tratamiento superficial en tierra, compostaje y biopilas. En estos procesos, la tierra contaminada se excava y se le añade oxígeno, nutrientes, agua o microorganismos para reforzar la biodegradación natural de los contaminantes.

Biorremediación en fase de lodos

Detrás del uso de la biorremediación en fase de lodos hay dos objetivos principales: 1) destruir los contaminantes orgánicos del suelo o los lodos y, de igual importancia, 2) reducir el volumen de material contaminado. La biodegradación ha demostrado ser eficaz en el tratamiento de tierras altamente contaminadas que tienen concentraciones de combustibles u otros contaminantes orgánicos que van de 2500 a 250.000 mg/kg. El proceso de los lodos también ha mostrado algún potencial para el tratamiento de una amplia gama de contaminantes, incluyendo pesticidas, creosota, pentaclorofenol, PCB y otros compuestos orgánicos halogenados.

Es necesario preparar los residuos antes de aplicar la biodegradación de lodos. La preparación puede incluir la excavación y manipulación del material residual, así como el cribado para eliminar los escombros y los objetos grandes. La reducción del tamaño de las partículas, la adición de agua y los ajustes del pH y la temperatura también pueden ser necesarios para cumplir con las especificaciones de alimentación.

Una vez se ha completado la biodegradación de los contaminantes, el lodo tratado se envía a un sistema de separación y deshidratación. Se puede usar un clarificador para separación por gravedad con el fin de eliminar el agua de la tierra.

Biorremediación en fase sólida

La biorremediación en fase sólida implica la excavación y preparación de la tierra contaminada para reforzar la biorremediación de los contaminantes que tiene. Las técnicas usadas normalmente para la preparación de la tierra a biorremediar son el tamizado/cribado, homogeneización, mejora de nutrientes y adición de compost. La biorremediación se lleva a cabo en biopilas (volteado de la tierra o inyección de aire).

La digestión aerobia implica el almacenamiento de residuos biodegradables con un agente aglutinante para aumentar la porosidad del material de la tierra. La biorremediación es similar a el compostaje en que la tierra contaminada se apila en grandes montones. Sin embargo, para estos procesos el aire normalmente se proporciona inyectando un vacío a través de la pila.

Usuarios

Tierras contaminadas.

2.3 Tratamientos físico-químicos de los residuos

[30, Eklund, et al., 1997], [51, Inertec, et al., 2002], [53, LaGrega, et al., 1994], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [89, Alemania, 2003], [100, PNUMA, 2000], [101, Greenpeace, 1998], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [123, Perseo, 2003], [124, Iswa, 2003], [136, Straetmans, 2003], [146, Galambos y McCann, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004], [156, VROM, 2004], [157, UBA, 2004].

Este apartado detalla los tratamientos físico-químicos (FQ) de los residuos. Los tratamientos como la precipitación, decantación y centrifugado, así como los tratamientos térmicos que no se incluyen en el BREF sobre IR se incluyen aquí. Debido al hecho de que muchos de estos tratamientos son operaciones unitarias comunes, en este apartado sólo se mencionará brevemente la descripción de algunas operaciones. Para aquellas técnicas consideradas menos comunes y que necesitan explicaciones extra, se ha creado un apartado independiente dentro de este apartado. Las técnicas para la reducción de emisiones se incluyen en el apartado 2.6. Las actividades comunes llevadas a cabo en estas instalaciones (por ejemplo, almacenamiento, manipulación, etc.) se incluyen en el apartado 2.1.

La estructura de este apartado se refiere a las condiciones físicas del tipo de residuo. Los tratamientos llevados a cabo con líquidos y sólidos difieren mucho y se ha sugerido que considerarlos por separado puede proporcionar una buena estructura para un apartado tan grande. Al final del apartado, también se han incluido algunos tratamientos físico-químicos llevados a cabo con residuos especiales (por ejemplo, la destrucción de COP).

Algunas de las técnicas para el tratamiento de residuos pueden usar, por ejemplo, la solución ácida del primer reactor de un sistema de control de la contaminación del aire húmedo cuando se considera el tratamiento de residuos con control de contaminación del aire. Algunas técnicas implican un retorno de los residuos tratados a la cámara de combustión para sinterizarlos con cenizas de fondo. Estas técnicas no se incluyen en este documento debido a que son medidas integradas de las tecnologías de la combustión. Estos problemas se pueden encontrar en otros documentos BREF.

2.3.1 Tratamientos físico-químicos de las aguas residuales

Finalidad

Las instalaciones FQ están diseñadas de forma que se pueda separar la mayor cantidad posible de materiales reciclables usándose la mínima cantidad de materiales auxiliares. Los fines de las instalaciones de tratamiento físico-químico son:

- permitir conseguir los objetivos de protección ambiental, en particular, de gestión de la calidad del agua. En las instalaciones FQ, los materiales que pueden ser peligrosos para el agua bien se tratan, se retienen o se convierten en una forma no peligrosa;
- permitir la correcta eliminación de grandes cantidades de, en general, residuos líquidos acuosos y residuos que requieren controles especiales;
- separar el aceite o la fracción orgánica para usarla como combustible.

Los procedimientos sirven para la aplicación específica de las reacciones físico-químicas para la conversión del material (por ejemplo, neutralización, oxidación, reducción, etc.) y para la separación de los materiales (por ejemplo, filtración, sedimentación, destilación, intercambio de iones, etc.).

Principio de funcionamiento

Durante el tratamiento físico-químico de las aguas residuales contaminadas, el agua se separa y se procesa para su descarga en sistemas de alcantarillado o en cuerpos de agua. Tan pronto como se descarga, este agua procesada pasa a ser objeto de varias legislaciones.

Flujos de alimentación y salida

El residuo tratado en las instalaciones FQ es líquido acuoso. Las instalaciones FQ tratan generalmente residuos líquidos o lodos con un contenido en agua relativamente alto (>80 %-peso). Con independencia de su origen y de su relación con las características de los materiales, los residuos que se tratan normalmente en estas instalaciones son:

- emulsiones/lubricantes de refrigeración;
- ácidos (por ejemplo, ácidos decapantes de tratamientos de superficies). Existe información en el BREF STM);
- soluciones alcalinas;
- concentrados y soluciones salinas que contienen metales;
- agua de lavar;
- aguas residuales que contienen un separador de gasolina y aceite;
- mezclas de disolventes;
- lodos;
- residuos líquidos acuosos con grandes concentraciones de materias biodegradables;
- residuos marinos acuosos;

En la tabla 2.6 se presenta una indicación del tipo de residuos aceptados en instalaciones del Reino Unido.

Flujo de residuos	Porcentaje de instalaciones que aceptan cada tipo de residuos (%)
Materia inorgánica acuosa neutra	69
Ácidos	62
Aceites	62
Álcalis	54
Materia orgánica acuosa neutra	54
Contenedores contaminados	23
Cianuros	23
Lodos orgánicos	8
Compuestos químicos que reaccionan con el agua	8

Tabla 2.6: Tipos de residuos aceptados en las instalaciones de tratamiento físico-químico del Reino Unido [56, Babbie Group Ltd, 2002]

Descripción del proceso

Las instalaciones FQ están configuradas caso por caso dependiendo de los requisitos o aplicaciones. Cada instalación tiene una tecnología individual y concepto operativo específicos dirigidos a los residuos que tratan. Por esta razón, no existe una instalación de tratamiento físico-químico «estándar». Aunque todas las instalaciones tienen laboratorios de inspección y procesos y tienden a tener una función de neutralización, la gama de procesos de pretratamiento, los métodos de manipulación de lodos y la combinación de los flujos de residuos de entrada hacen que cada una tenga un funcionamiento único. Los modos de funcionamiento de las instalaciones FQ son:

- funcionamiento continuo: particularmente adecuado para grandes producciones, residuos con una composición relativamente constante y para el funcionamiento automatizado;
- funcionamiento por lotes: particularmente idóneo para residuos con características y reacciones muy variables.

La tabla 2.7 muestra algunas diferencias entre las distintas instalaciones FQ.

	Tratamiento de				
	emulsiones	emulsiones y mezclas de aceite y agua	emulsiones y residuos con contenidos para desintoxicar	líquidos y residuos acuosos con disolventes orgánicos	líquidos y residuos acuosos que contienen disolventes orgánicos y tensoactivos
Cribado					
Sedimentación					
Ultrafiltración					
Evaporación					
Calentamiento					
Extracción con aire					
División de ácidos					
División orgánica					
Oxidación/reducción					
Filtración con membranas					
Floculación/precipitación					
Sedimentación					
Drenaje					
Precipitación sulfúrica					
Filtración					
Intercambiador de iones					
Neutralización					

Nota: gris oscuro: se requiere proceso, gris claro: proceso opcional

Tabla 2.7: Análisis de algunos tipos representativos de instalaciones de tratamiento físico-químico
Basado en [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

Las operaciones unitarias que se usan normalmente son la criba, almacenamiento/acumulación, neutralización, sedimentación, precipitación/floculación, intercambio de iones, oxidación/reducción, sorción (adsorción/absorción), evaporación/destilación, filtración con membranas, extracción con aire, extracción, filtración/drenaje, división de ácidos de emulsiones y la división orgánica de emulsiones.

Con frecuencia se tendrán que usar varias operaciones unitarias para tratar correctamente un residuo específico. La combinación de procedimientos de operaciones unitarias (tipo de procedimiento, secuencia de su aplicación, controles, etc.), la específica del laboratorio de la instalación FQ según la composición de los residuos y su comportamiento en las reacciones.

Normalmente los reactores disponen del siguiente equipamiento para controlar las reacciones:

- depósitos para el almacenamiento separado, dependiendo del tipo de tratamiento,
- contenedores de reacciones con agitadores ajustables e indicadores de temperatura,
- contenedores de sedimentación,
- equipos de medición,
- depósitos receptores y de almacenamiento para productos químicos,

- depósitos y depósitos de almacenamiento para los residuos a tratar,
- equipos de dosificación,
- materiales resistentes a los ácidos y álcalis,
- control del valor de pH para los productos químicos,
- contenedores para la sedimentación y mezclado de agentes auxiliares,
- controles automáticos y de medición,
- ventilación y filtrado de los depósitos de reacción con equipos para la limpieza del aire de escape.

Usuarios

Del 25 al 30 % de todos los residuos peligrosos de Alemania se eliminan mediante instalaciones de tratamiento físico-químico. Algunos ejemplos de operaciones que se llevan a cabo por medio de estas instalaciones son:

- tratamiento de emulsiones,
- tratamiento de emulsiones y residuos con contenidos para desintoxicar,
- tratamiento de líquidos, residuos acuosos con algunos disolventes orgánicos,
- tratamiento de emulsiones y mezclas de aceite y agua,
- tratamiento de líquidos, residuos acuosos que contienen disolventes orgánicos y tensoactivos,
- desintoxicación (oxidación/reducción) de residuos que contienen nitritos, Cr(VI), cianuro (como pretratamiento).

Los residuos procesados proceden normalmente de varios procesos de producción industrial y comercial y de actividades de mantenimiento, reparación y limpieza. Algunos de los sectores industriales específicos que se atienden son las industrias de la impresión y la fotografía. Éstas son un ejemplo de dichas instalaciones, que ofrecen un servicio para un sector industrial en particular, llevándose una amplia gama de residuos y transfiriendo aquellos que no se pueden tratar o reciclar internamente.

La figura 2.7 muestra el tratamiento de residuos marinos acuosos.

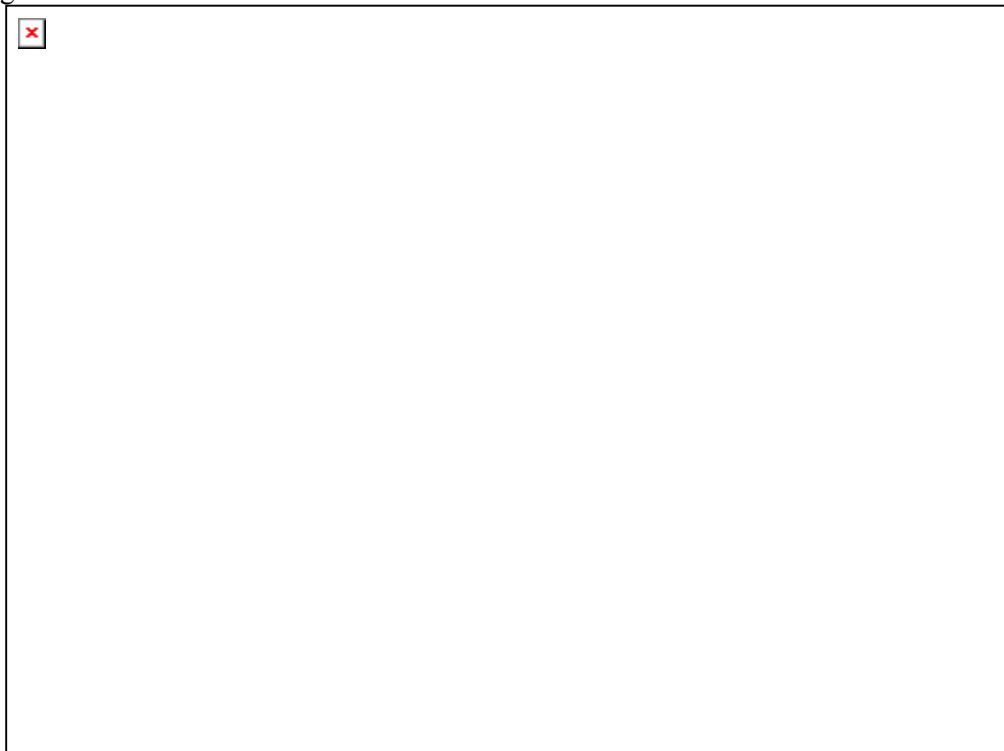


Figura 2.7: Tratamiento de residuos marinos acuosos
[156, VROM, 2004]

2.3.2 Operaciones unitarias usadas en los tratamientos físico-químicos de aguas residuales

El residuo se puede tratar usando cualquiera de la gran cantidad de operaciones unitarias probadas comercialmente. Los métodos de tratamiento se clasifican en cuatro categorías:

1. separación por fases (por ejemplo, sedimentación, tratamiento con vapor),
2. separación de componentes (por ejemplo, intercambio de iones, electrodiálisis),
3. transformación química (por ejemplo, oxidación química, incineración),
4. transformación biológica (por ejemplo, tratamiento aerobio con película fija).

La tabla 2.8 resume las operaciones unitarias usadas en los tratamientos físico-químicos. Se puede encontrar más información sobre este tema en el BREF sobre tratamiento de aguas y gases residuales.

Operación unitaria	Finalidad	Principio de funcionamiento
<i>Operaciones de separación</i>		
Disolución de ácidos de emulsiones	El término «disolución de ácidos» se entiende como el tratamiento de las emulsiones. El objetivo del tratamiento es la separación de la emulsión en agua residual, aceite o grasa y metales sin disolver como lodos de hidróxidos	
Centrifugación	Deshidratación de lodos de sales metálicas procedentes de técnicas de precipitación	Separa los sólidos y los líquidos haciendo girar rápidamente la mezcla en un recipiente. Los sólidos bien se depositan en el fondo (tipo sedimentación) o se adhieren a la pared interior del recipiente (tipo filtración) a través de la cual pasa el líquido
Evaporación y destilación	La evaporación y la destilación son procesos similares con diferentes objetivos. Durante la evaporación, el material útil de una mezcla se evapora a través de efectos térmicos y se captura como vapor y normalmente se condensa. La destilación es un proceso de separación que se usa para la separación de mezclas con el que se obtiene un mejor índice de separación que en la evaporación	El objetivo de la evaporación y la destilación es separar el aceite en una forma válida para su utilización. En las instalaciones FQ, la evaporación se usa como etapa de partición con el fin de separar materiales vaporizables del agua residual. Dependiendo de los ingredientes del agua residual, la evaporización también se puede usar como acondicionamiento para una etapa de preparación posterior, como la filtración con membranas. La tecnología del evaporador tiene una gran importancia cuando se van a separar disolventes orgánicos del residuo a tratar

Operación unitaria	Finalidad	Principio de funcionamiento
Extracción		La extracción se usa para la separación específica de componentes de una mezcla de sustancias. Las sustancias se mezclan totalmente con un disolvente selectivo. Durante el mezclado, el componente de la mezcla de sustancias migra a un agente extractor. Con la posterior separación del agente extractor de la mezcla de sustancias, finalmente los componentes de ésta también se separan
Filtración/ deshidratación	Esta es la operación más común aplicada, por ejemplo, en el tratamiento del agua potable, el tratamiento de aguas residuales industriales, etc.	Implica pasar una mezcla de líquidos y sólidos (o gas y sólidos) a través de un medio de filtrado para atrapar los sólidos. Existen diferentes clases de filtros, como los filtros de grava, los filtros de arena y los filtros mecánicos (por ejemplo, prensas de tamizado de aguas residuales, filtros prensa de cámara, filtros prensa de membrana, etc.)
Filtración/ criba	El cribado de los residuos a tratar resulta esencial para la protección y la seguridad de las unidades funcionales, como bombas, compuertas de esclusa, válvulas.	La criba es un procedimiento de clasificación/separación con el que el material filtrado —mezcla de sólidos y líquidos (lodos)— se separa en dos mezclas, una con un tamaño medio de partículas más pequeño que la entrada y otro más grande
Filtración (por membranas)	Separación de sustancias y sólidos de mezclas de líquidos. La ultrafiltración se puede usar para la disolución de emulsiones	En los procedimientos con membranas, los líquidos a tratar se alimentan con una presión continua y se hacen pasar a través de una membrana semipermeable. El poder separador de la membrana se basa fundamentalmente en el efecto del filtrado y, así, la producción no se ve alterada ni biológica ni químicamente.
Flotación	Se usa para el refinado, envasado de carnes, pinturas, fabricación de papel y las industrias panificadoras	Introducción de diminutas burbujas de aire en una solución que contiene partículas suspendidas. Las partículas se adhieren a las burbujas de aire y flotan

Operación unitaria	Finalidad	Principio de funcionamiento
Procesos de intercambio de iones	El intercambio de iones es un proceso para la limpieza de residuos líquidos de partículas disueltas cargadas eléctricamente (iones) por medio de materiales intercambiadores de iones. También se puede usar en el ablandamiento del agua, al eliminarse los iones de Ca y Mg del flujo líquido. Algunas sustancias apropiadas para los intercambiadores de iones son los residuos líquidos de la industria galvanoplástica, electrolitos de cromo y baños de cromado, decapado con ácidos fosfóricos y clorhídricos y baños de anodización con ácido sulfúrico. Los grupos de materiales que no resultan apropiados para los intercambiadores de iones son: compuestos orgánicos, puesto que pueden bloquear irreversiblemente las resinas del intercambiador o cuya eliminación pueda ser incompleta; agentes oxidantes fuertes, puesto que pueden dañar las resinas de los intercambiadores de aniones; complejos de cianuros metálicos, puesto que los intercambiadores de aniones base fuertes dañan las resinas; hidrocarburos aromáticos y halogenados, puesto que hacen que las resinas de los intercambiadores aumenten continuamente y así provoquen interrupciones en su disponibilidad.	Las resinas de intercambio de iones tienen la capacidad de intercambiar sus grupos de iones fijos (cationes e iones) con iones contaminados del agua
Procesos de separación de aceite	Decantación por gravedad sin calor para producir una capa rica en aceite, que se espuma y se envía a recicladores de aceite para su posterior tratamiento, y una fase acuosa con lodos que se procesan a través de la instalación principal. En algunas instalaciones, esto constituye una de las partes principales de las actividades del día a día. En otras se trata de un proceso ocasional en lotes y sólo se pone en funcionamiento cuando se necesita para proporcionar un servicio completo para clientes importantes, aunque la empresa no persigue activamente el tratamiento de flujos de aceite y agua. Algunas instalaciones añaden ácido al aceite para ayudar en el proceso de separación (disolución de la emulsión)	Separación por gravedad de los aceites solubles y las mezclas de aceite y agua
División orgánica de emulsiones		Se usa para desactivar los agentes emulsionantes, polielectrolitos y productos similares. Esto permite una buena división de la emulsión comparable a la división de ácidos

Operación unitaria	Finalidad	Principio de funcionamiento
Ósmosis inversa	Se usa para producir agua potable procedente de aguas subterráneas salobres y agua de mar. También para la recuperación de agentes químicos galvanoplásticos procedentes del agua de aclarados de electrólisis y sulfatos de las aguas residuales de la industria del papel. Se usa en el tratamiento de lixiviado	Se usa una fuerza mecánica, como, por ejemplo, alta presión (17 – 100 atm) para impulsar el disolvente (normalmente agua) a través de una membrana. Esto genera dos fracciones, una que concentra los componentes disueltos y otra en la que se purifica el disolvente
Tamizado	Aguas residuales que contienen sólidos, etc.	Elimina las partículas grandes de las aguas residuales. Hay tres tipos de tamices: tambores giratorios, tamices vibrantes y tamices estacionarios
Sedimentación	La sedimentación se usa en las instalaciones FQ específicamente para el espesamiento de lodos y la separación de partículas pesadas y materia en suspensión de aguas residuales y lodos concentrados	La fuerza de la gravedad provoca que la la fase más espesa de la suspensión se separe. Así, la naturaleza de la fuerza determina el tipo de sedimentación: sedimentación por gravedad o sedimentación centrífuga
Sorción (absorción o adsorción)	Si el agua residual muestra valores aumentados o inadmisiblemente altos de COT, AOX o PCB, normalmente las materias orgánicas se separan mediante adsorción	La sorción es la captación de una sustancia (gas, vapor, líquido) por otro material como resultado del contacto de ambos materiales. La absorción se designa como la penetración de un gas en una fase sólida o líquida (absorbentes) por difusión. La adsorción se describe como la acumulación de gases o materiales solubles en la superficie de un material sólido o líquido (adsorbentes) por fuerzas moleculares. La adsorción es un proceso físico y, en esta medida, las características químicas del material adsorbido no se alteran
Extracción con aire (por aire o vapor)	La extracción con aire se utiliza para poder usar los siguientes procedimientos mejor y de forma más eficaz; o también como etapa final para reducir la concentración de determinados hidrocarburos (AOX). Mediante la extracción con aire, las materias volátiles, como, por ejemplo, sulfuro de hidrógeno (H ₂ S), amoníaco (NH ₃), hidrocarburos con bajo punto de ebullición e hidrocarburos de cloro (AOX) se pueden separar de soluciones acuosas	La extracción con aire es la expulsión de materias fácilmente vaporizables de mezclas de líquidos. Para esta extracción se usa aire o vapor de agua con un aumento simultáneo de las superficies límite de la fase. La extracción con aire es, por ello, un proceso de separación en el que el material separado está en el aire de escape (extracción con aire) o en el destilado (extracción con vapor de agua)
<i>Procesos químicos *</i>		
Electrolisis	La recuperación de metales de soluciones (por ejemplo, plata de los residuos fotográficos)	Uso de energía eléctrica para reducir metales de la solución
Neutralización	Para neutralizar el agua residual o para recuperar algunos componentes de ella mediante precipitación a un pH específico. Dependiendo de la configuración del equipo, la neutralización y sedimentación se pueden llevar a cabo en el mismo contenedor	La neutralización es el ajuste de los valores de pH a un nivel neutro, como, por ejemplo, pH ~ 7. Se consigue añadiendo ácidos o solución alcalina al material a neutralizar o mediante la mezcla de éstos

Operación unitaria	Finalidad	Principio de funcionamiento
Oxidación/reducción	Las reacciones de reducción/oxidación relacionadas con el tratamiento FQ de la actividad de los residuos implica la desintoxicación de nitritos y cianuros (oxidación) y compuestos de cromo (VI) (reducción). Otros tratamientos posibles son la destrucción de sulfuros o peróxidos. Los residuos se hacen menos tóxicos, más simples y menos volátiles restando o agregando electrones entre los reactivos	La oxidación y la reducción son procesos que generalmente están acoplados La oxidación es la liberación de electrones y la reducción es la captación de electrones.
Precipitación/floculación	Separación de materias disueltas o suspendidas (por ejemplo, metales) mediante la adición de agentes químicos	La precipitación es la conversión de una sustancia soluble en una sustancia insoluble, generalmente por la adición de agentes químicos. La floculación es la aglomeración de partículas más o menos finas (así como sustancias solubles) en flóculos más grandes; éstos se separan por sedimentación o filtración
Oxidación por aire húmedo	Lodos de alcantarillado	Sólidos solubilizados y oxidados a alta presión
* Algunos de estos tratamientos inducen separaciones (por ejemplo, la precipitación)		

Tabla 2.8: Operaciones unitarias usadas en los tratamientos físico-químicos [80, Petts y Eduljee, 1994], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004]

2.3.3 Tratamientos físico-químicos de residuos sólidos y lodos residuales

El principal objetivo de los tratamientos físico-químicos de residuos sólidos y lodos residuales es minimizar la liberación a largo plazo por lixiviación de los metales pesados y compuestos poco biodegradables. Las opciones de tratamiento disponibles actúan para prolongar el período de tiempo de lixiviación liberando, por ejemplo, metales pesados en concentraciones más bajas y ambientalmente aceptables por un período de tiempo ampliado.

En principio, se pueden aplicar todas las opciones de tratamiento para residuos sólidos y lodos residuales. No obstante, las características del material tratado y la eficacia de la tecnología de tratamiento pueden variar considerablemente dependiendo de las propiedades específicas de la entrada de residuo original y del tipo de sistema de limpieza aplicado. Las opciones de tratamiento han sido subagrupadas de acuerdo con los siguientes tipos:

- extracción y separación,
- tratamiento térmico,
- separación mecánica,
- acondicionamiento,
- inmovilización (este tratamiento incluye la solidificación y estabilización),
- deshidratación,
- desecación,
- desorción térmica,
- extracción con vapor de tierras excavadas,
- extracción con disolventes de residuos sólidos (por ejemplo, tierras excavadas),
- excavación y extracción de tierras excavadas,
- lavado de tierras.

2.3.3.1 Extracción y separación

Finalidad

Para extraer metales pesados y sales de residuos sólidos usando ácido.

Principio de funcionamiento

Solubiliza compuestos y los extrae con agua.

Flujos de alimentación y salida

Las opciones de tratamiento que usan procesos de extracción y separación pueden, en principio, cubrir todo tipo de procesos que extraen componentes específicos de los residuos.

Usuarios

Se han propuesto varias técnicas tanto en Europa como en Japón para los residuos de control de la contaminación del aire.

2.3.3.2 Tratamientos térmicos

Finalidad

El tratamiento térmico de los residuos del TGC procedentes de procesos de combustión se usa ampliamente en unos pocos países, principalmente para reducir el volumen y mejorar sus propiedades de lixiviación.

Principio de funcionamiento

Los tratamientos con altas temperaturas usan calor para fundir el residuo e iniciar los procesos de vitrificación y ceramización. Los tratamientos térmicos se pueden agrupar en tres categorías: vitrificación, fusión y sinterización. Las diferencias entre estos procesos se refieren principalmente a las características y propiedades del material final:

- la vitrificación es un proceso en el que los residuos se mezclan con materiales precursores del vidrio y, a continuación, se combinan a altas temperaturas en un producto vítreo amorfo de una fase. Las temperaturas típicas de vitrificación están entre 1300 y 1500 °C. Los mecanismos de retención son la unión química de especies inorgánicas del residuo con materiales formadores de vidrio, como sílice, y la encapsulación de los componentes mediante una capa de material vítreo;
- la fusión es similar a la vitrificación, pero este proceso no incluye la adición de materiales del vidrio y el resultado es un producto de varias fases. A menudo se generan varias fases de metal fundido. Se pueden separar fases específicas de los metales del producto fundido y reciclar estos metales, posiblemente después del refinado. Las temperaturas son similares a las que se usan en la vitrificación;
- la sinterización implica el calentamiento del residuo a un nivel en el que se produzca la unión de las partículas, así como fases químicas en la reconfiguración de los residuos. Esto conduce a un producto más denso, con menos porosidad y una resistencia mayor que la del residuo original. Las temperaturas habituales rondan los 900 °C. Las temperaturas para la sinterización de cenizas de fondo procedentes de incineradoras de RSM pueden llegar hasta 1200 °C.

Flujos de alimentación y salida

En la mayoría de casos, los residuos del TGC se tratan térmicamente en combinación con cenizas de fondo.

Descripción del proceso

Independientemente del proceso, el tratamiento térmico de los residuos del TGC en la mayoría de casos tiene como resultado un proceso más denso y más homogéneo con propiedades de lixiviación mejoradas. La vitrificación también añade los beneficios de la encapsulación física de contaminantes en la matriz de vidrio.

El tratamiento térmico de los residuos del TGC requiere un tratamiento importante del gas de salida, creándose por tanto un nuevo residuo sólido a tratar. Igualmente, las altas concentraciones de sales en los residuos del TGC pueden ocasionar problemas de corrosión en los sistemas de tratamiento del gas de salida.

Usuarios

La sinterización no se usa como una opción de tratamiento específica para los residuos del TGC, aunque algunos métodos de tratamiento combinados pueden implicar la sinterización.

2.3.3.3 Separación mecánica

Finalidad

El objetivo del tratamiento es generar un material que sea inerte, que no afecte negativamente a los cuerpos de agua y que tenga un potencial de recuperación segura, por ejemplo, como sustituto de tierras o en la construcción de carreteras. Dicho tratamiento reduce la masa de residuo para eliminar. Además, las fracciones metálicas ferrosas y no ferrosas separadas y recogidas se pueden volver a utilizar. Por otra parte, la reducción de la cantidad de metales pesados, como, por ejemplo, arsénico (sal) que se descargan en el medio ambiente, también constituye un gran beneficio.

Principio de funcionamiento

En el caso del tratamiento de las cenizas de fondo, éstas se separan al menos en tres fracciones: compuestos minerales, materias sin quemar y chatarra. Se necesita una reducción de metales pesados y compuestos solubles, que es importante para la reutilización de los materiales después del tratamiento. Los componentes solubles en agua son los ingredientes más importantes en agua de las cenizas de fondo.

Flujos de alimentación y salida

Uno de los productos principales de la incineración de residuos es la ceniza de fondo generada a través del proceso de combustión. Una entrada de una tonelada de residuos domésticos genera aproximadamente 250 – 350 kg de ceniza de fondo. Esta ceniza se compone generalmente de componentes como cloruro, arsénico, plomo, cadmio, cobre, materiales minerales y chatarra.

Descripción del proceso



Figura 2.8: Ejemplos de algunas separaciones mecánicas usadas para el tratamiento de las cenizas de fondo
[89, Alemania, 2003], [150, GTT, 2004]

Usuarios

Cenizas de fondo y residuos del TGC.

2.3.3.4 Acondicionamiento**Finalidad**

El objetivo es el tratamiento de los residuos en forma de sólidos y pasta para su valorización o eliminación en instalaciones incineradoras o para el vertido controlado.

Principio de funcionamiento

Las sustancias que sólo se pueden incinerar o enviar a vertederos están condicionadas por los agregados. Dependiendo de la instalación de eliminación final (por ejemplo, incineración o vertido), se añaden diatomeas, serrín de madera u otros agregados adecuados al residuo.

Descripción del proceso

Los residuos con ciertos contenidos de recursos se pueden pasar en la instalación posterior para la valorización de las sustancias reciclables. Si es necesario, los residuos se pueden hacer pasar por una trituración única, por ejemplo, para triturar los envases metálicos como botes de pintura, y transferirlos mediante un sistema transportador a la instalación para la recuperación de los materiales reciclables.

Los residuos que se envían en contenedores de gran capacidad se tratan previamente en una segunda instalación de triturado. Para los residuos polvorientos, existe una trituradora de dos ejes completamente encapsulada. En el mezclador de caída libre, los residuos pretratados se pueden mezclar con agregados para producir lotes de un máximo de 10 m³. El mezclador de caída libre consiste principalmente en un contenedor cilindrocónico abierto con un volumen de 20 m³. Este contenedor se llena por medio de la última cinta transportadora del sistema de carga. La rotación del contenedor produce una mezcla homogénea y las fuerzas abrasivas del tambor de mezcla realizan una limpieza casi en seco de los componentes de metal y plástico del residuo. El mezclador de caída libre se vacía en la instalación de carga que transporta el residuo acondicionado bien para la carga en camiones o para un tratamiento posterior en la instalación de recuperación de sustancias reciclables.

Usuarios

Preparación de residuos que serán utilizados como combustible.

2.3.3.5 Inmovilización**Finalidad**

El fin de la inmovilización es minimizar el índice de migración de contaminantes al medio ambiente y reducir el nivel de toxicidad de éstos con el fin de cambiar o mejorar las características del residuo para que se pueda eliminar. El objetivo incluye tanto una reducción de la toxicidad del residuo como de la movilidad, así como una mejora de las propiedades técnicas del material estabilizado.

Principio de funcionamiento

La inmovilización se basa en las propiedades del reactivo para producir un producto residual inmovilizado, incluso cuando el producto no tiene una forma sólida. Estos procesos retienen sustancias adsorbidas o atrapadas dentro de una matriz sólida. Algunos de ellos son reversibles (es decir, las sustancias inmovilizadas se pueden liberar) debido tanto a un control insuficiente del proceso como a la posterior mezcla con otros tipos de residuos. Se han desarrollado dos tipos de procesos. Normalmente se conocen como estabilización y solidificación.

Estabilización

Se trata de un proceso por el que los contaminantes (por ejemplo, metales pesados) se unen total o parcialmente por la adición de algún medio de ayuda, aglutinantes u otros modificadores. La estabilización se logra mezclando el residuo con un reactivo (dependiendo del tipo de residuo y la reacción planificada, éste puede ser, por ejemplo, partículas de arcilla, sustancias orgánicas húmicas como turba, carbón activo, oxidantes, reductores o reactivos de precipitación) para minimizar el índice de migración de la contaminación procedente del residuo, lo que reduce la toxicidad de éste y mejora sus propiedades de manipulación en el vertedero. Para conseguir esto, un proceso debe incluir una interacción fisico-química entre el reactivo y el residuo, en lugar de sólo una dilución.

Estos métodos de estabilización hacen uso tanto de la precipitación de los metales en nuevos minerales como de la unión de los metales a los minerales por sorción. El proceso incluye alguna clase de solubilización de los metales pesados en el material y la posterior precipitación o sorción en nuevos minerales.

Los mecanismos físicos empleados en la estabilización son la macroencapsulación, microencapsulación, absorción, adsorción, precipitación y desintoxicación. Existe una amplia gama de sorbentes y aglutinantes disponibles para dicha finalidad. Algunos de los métodos comúnmente usados son: cemento, puzolanas (material de aluminio silíceo que reacciona con la cal y el agua), cal, silicatos solubles, arcillas o cal orgánicamente modificados, polímeros orgánicos termoestables, materiales termoplásticos y vitrificación (in situ o en la instalación).

En muchos casos, ambos tipos de reactivos (reactivos químicos como se mencionó tres párrafos antes) y los sorbentes y aglutinantes (mencionados en el anterior párrafo) se usan simultáneamente.

Solidificación

Utiliza aditivos para cambiar las propiedades físicas del residuo (según se mida teniendo en cuenta sus propiedades técnicas como resistencia, compresibilidad o permeabilidad). El término «solidificación» (y encapsulación o fijación) se refieren a la mezcla de residuos con un reactivo (cenizas de combustible pulverizado; cemento o cal; escoria de altos hornos; polvo de hornos de cemento; aglutinantes orgánicos como alquitrán/asfalto o parafina; y polietileno) para producir una forma de residuo sólida (con baja porosidad y una baja matriz de permeabilidad) para su eliminación en vertedero. Las sustancias bien se adsorben en el reactivo o quedan atrapadas dentro de la forma del residuo. El producto resultante deberá poseer una alta resistencia a los procesos de degradación química y biológica que puedan conducir a liberar los contaminantes.

La adición de cemento, por ejemplo, normalmente disminuye la conductividad hidráulica y la porosidad del material y, además, aumenta la tortuosidad, durabilidad, resistencia y volumen. Sin embargo, es normal que aumente el pH y la capacidad alcalina de la mezcla, por lo que mejora el comportamiento de lixiviación del producto (por ejemplo, metales atmosféricos, algunos compuestos orgánicos, etc.). En algunos casos, dependiendo del aglutinante, la solidificación puede producir cambios químicos de la matriz del material.

En resumen, la fijación e insolubilización de los contaminantes se realiza por medio de cuatro mecanismos: precipitación, complejización, encapsulación y adsorción.

Flujos de alimentación y salida

Esta tecnología se aplica para muchos residuos inorgánicos (normalmente residuos peligrosos) presentes en la industria, como son:

- residuos pastosos y lodos que contienen componentes inorgánicos (metales pesados, etc.) y pequeñas cantidades de componentes orgánicos insolubles (aromáticos policíclicos, combustibles residuales, etc.). Por ejemplo, residuos complejos líquidos y sólidos contaminados con metales pesados (Cu, Pb, Cd, Hg, Cr, etc.);

- residuos sólidos y secos con componentes inorgánicos (en este caso se debe agregar agua de hidratación). Por ejemplo, tierras contaminadas y tortas de filtración; desechos con muy pocos hidrocarburos insolubles; cenizas de fondo y escoria; residuos del TGC;
- la solidificación se usa a veces para mezclar varios líquidos viscosos, como colas y pastas, con serrín para producir un grumo sólido apto para el vertido. Esta práctica no está permitida en vertederos de algunos países como Francia, Alemania o los países del Benelux. En algunos casos, dichos componentes se mezclan con cemento y cal u otro material aglutinante adecuado.

Los residuos que la Directiva sobre vertederos no acepta legalmente para su tratamiento por inmovilización en instalaciones situadas en vertederos son los residuos líquidos, residuos que contengan componentes tóxicos, compuestos volátiles, componentes pestilentes o explosivos. Los puntos clave para la inmovilización incluyen: la idoneidad del residuo, el control del proceso, las emisiones generadas y la especificación del producto resultante. Conforme a la Directiva sobre vertederos (1999/31/CE) y sus anexos, es necesario alinear la especificación del producto resultante con los criterios de aceptación del vertedero receptor, que han sido desarrollados por el Comité Europeo de Adaptaciones Técnicas y que cubrirán la lixivialidad, estabilidad y reacción física con otros residuos. Su transcripción a la legislación nacional vencerá a finales de 2005.

El producto resultante de la solidificación se podrá verter o dejar solidificar en un área de espera antes de ser enviado al vertedero. Normalmente el residuo final estabilizado/solidificado se vierte directamente o, en ocasiones, se funde en bloques (por ejemplo, de un tamaño de 1 m³) antes del vertido.

Descripción del proceso

Habitualmente el proceso comprende el almacenamiento de los reactivos, un recipiente de reacción y, en algunos casos, la adición de agua. La figura 2.9 muestra una representación de un proceso típico de inmovilización.

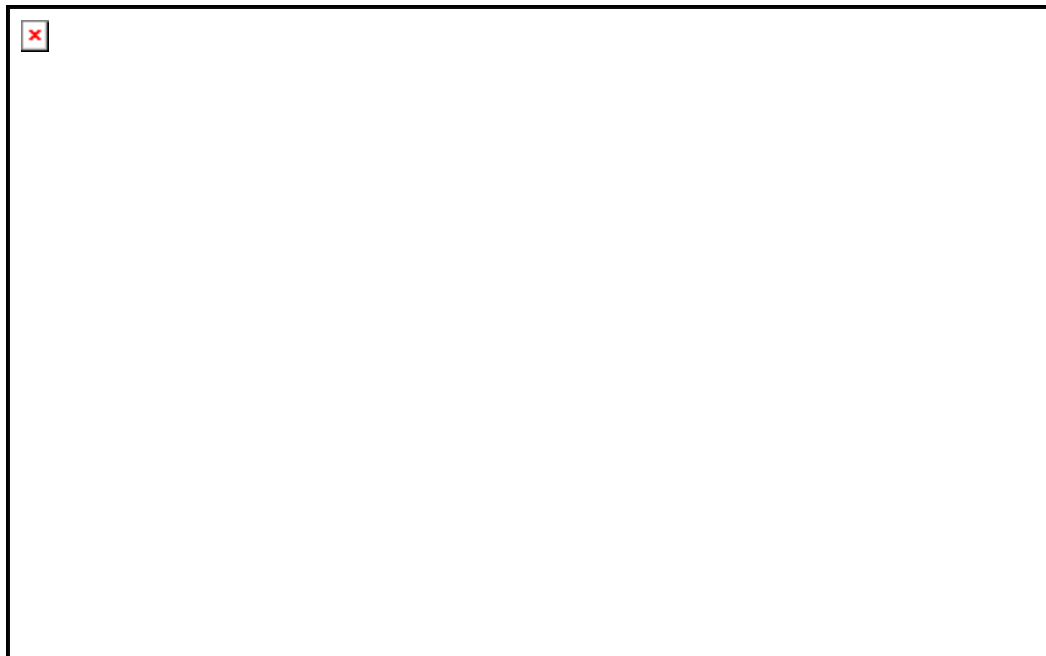


Figura 2.9: Representación de un proceso de inmovilización
[55, UK EA, 2001]

Algunos de los métodos de estabilización conllevan un paso inicial de lavado en el que una gran parte de las sales solubles y, en alguna medida, los metales, se extraen antes del aglutinamiento

químico de los metales restantes. Estos métodos se finalizan deshidratando el producto estabilizado, que quedará listo entonces para su vertido.

Son dos los procesos de solidificación que más ampliamente se usan: a) solidificación con cemento (la técnica de solidificación más extendida), que se basa en la mezcla del residuo con cemento, y b) procesos de aglutinado hidráulico especiales, que son procesos químicos dirigidos al desarrollo de la unión del aglutinante con el residuo. Otra técnica, que también se usa a gran escala, incluye, por ejemplo, la curación de los residuos de cenizas volantes con licores acuosos neutros o ácidos para proporcionar un producto granular antes del vertido.

Usuarios

Los tratamientos de inmovilización (tanto la estabilización como la solidificación) se aplican a:

- remediación de emplazamientos de residuos peligrosos;
- tratamientos de residuos procedentes de otros procesos (por ejemplo, cenizas de tratamientos térmicos, residuos de técnicas de final de línea, etc.);
- tratamiento de suelos contaminados en donde se encuentran grandes cantidades de tierra con contaminantes.

En algunos países de la UE, la estabilización/solidificación no constituye un problema en absoluto debido a su legislación nacional. En estos casos, muchos residuos no necesitan ninguno de dichos tratamientos para respetar los parámetros de los anexos de la Directiva sobre vertederos de la UE o la legislación nacional.

Durante más de 30 años, los residuos radiactivos se han encapsulado usando cemento o cenizas de combustible pulverizado y cenizas de fondo (escoria). No obstante, los materiales radiactivos están expresamente excluidos de la Directiva IPPC.

2.3.3.6 Deshidratación

Finalidad

La deshidratación de los lodos aumenta el contenido de sólidos secos, lo que produce un residuo «sólido». Cuando un lodo líquido se convierte en un residuo sólido, se convierte en un área gris; sin embargo, cualquier lodo que normalmente tenga más del 10 % de sólidos secos se hace difícil y caro de bombear.

Principio de funcionamiento

La deshidratación en proporciones superiores al 10 % necesitará primero alguna forma de acondicionamiento químico para ayudar en la separación del agua ligada y arrastrada contenida en el lodo. Existe una amplia gama de floculantes poliméricos con alto peso molecular que resultan particularmente eficaces en la mejora del rendimiento de la deshidratación.

Flujos de alimentación y salida

La deshidratación produce una «torta» de lodo, que puede tener entre el 20 y el 25 % de sólidos secos, y un flujo de residuos acuosos. Es de esperar que se reduzcan los costes generales de la eliminación en los casos en que el flujo de residuos acuosos no requiera, o requiera un mínimo, de procesamiento adicional para eliminar los contaminantes.

Descripción del proceso

Existen varios procesos para deshidratar lodos y la elección depende de la naturaleza y frecuencia con que se producen los sólidos, así como de la torta de lodo requerida. Por ejemplo:

- filtro prensa (o de lámina), que son procesos por lotes y pueden hacerse más intensivas manualmente. Un filtro prensa puede producir hasta el 40 % de torta de sólidos secos;

- la prensa de banda, que es un proceso continuo con la tela del filtro corriendo de forma continuada a través de los rodillos que fuerzan la deshidratación del lodo. Un prensa de banda puede producir hasta el 35 % de torta de sólidos secos;
- centrifugos, procesos continuos también, que pueden producir una torta de hasta el 40 % de sólidos secos para determinados lodos. Debido a las fuerzas de corte, puede disolver las partículas sólidas;
- tambores de filtrado.

Usuarios

La mayoría de sitios usan filtros prensa con los lodos procedentes de la instalación de tratamiento y después se envía la fracción acuosa mediante clarificación o unidades de FAD antes de su descarga en el alcantarillado. El exceso de sólidos se devuelve a los depósitos de tratamiento.

2.3.3.7 Deseccación con altas temperaturas

Finalidad

Los objetivos del proceso son los siguientes:

- eliminación del contenido de agua de los residuos, para hacer económicamente viable el reciclaje;
- concentración de los componentes residuales (por ejemplo, compuestos metálicos); el valor de calentamiento aumenta considerablemente;
- eliminación de los problemas con la manipulación de las sustancias pastosas, puesto que la desecación del residuo lo transforma en material granulado;
- uso del calor residual en otros procesos, como, por ejemplo, la destilación;
- los gases de escape disipados proporcionan la humedad necesaria para el biofiltro.

Principio de funcionamiento

Las sustancias de entrada que se van a secar se aportan mediante los transportadores de cadena de recogida y se introducen en el tambor de tubo giratorio en porciones únicas. El tiempo de residencia de las sustancias de entrada en el desecador y, por tanto, la sequedad del producto granulado se puede regular mediante el ajuste hidráulico del ángulo del tubo. La energía necesaria para el proceso de desecación se obtiene del calor residual de la incineradora. El aire que se necesita para el enfriamiento de los gases de combustión se enfría a 150 °C en los intercambiadores de calor aire-aire.

Hasta 30.000 m³/h de aire seco (máximo a 100 °C) fluyen a través del tubo giratorio a contracorriente en la entrada de humedad. El calor se usa para la evaporación del agua. El gas de escape se extrae por aspiración a través de un filtro de polvo y se transfiere directamente al biofiltro. Esto crea una ligera presión negativa en el desecador que impide eficazmente las fugas de polvo al medio ambiente. El producto seco granulado se descarga automáticamente por la rotación del tambor y se introduce en grandes bolsas u otro tipo de contenedores.

Flujos de alimentación y salida

Los lodos se secan y transforman en material granulado.

Descripción del proceso

La desecación consta de los siguientes procesos:

- suministro de aire caliente controlado por la temperatura y la presión diferencial,
- tambor de tubo giratorio hidráulicamente ajustable,
- transportador de cadena de recogida para la carga,
- filtro de polvo con un área de filtrado de 300 m²,
- disipación del gas de escape hacia el biofiltro por medio de ventilador de tiro inducido,

- técnica de medición (por ejemplo, polvo, temperatura, presión, flujo del volumen y humedad),
- sistema de control del proceso.

2.3.3.8 Instalaciones de desecación con destilación térmica

Finalidad

Procesar materiales que no se pueden aceptar en las instalaciones incineradoras de residuos peligrosos o en los vertederos de residuos peligrosos sin antes pasar por un complejo acondicionamiento.

Principio de funcionamiento

El material de entrada se tritura primero en la instalación en condiciones inertes y en un lugar cerrado. Los propelentes liberados se transfieren a la instalación de incineración de alta temperatura o al biofiltro. Después se lleva a cabo el tratamiento con el fin de destilar los líquidos del material de entrada.

Flujos de alimentación y salida

Se tratan los residuos peligrosos sólidos/pastosos que contienen importantes cantidades de líquidos libres o ligados. Tanto los productos sólidos como los líquidos que salen de la instalación se pueden reciclar, usar térmicamente, incinerar o verter.

Descripción del proceso

El proceso consta de dos partes: manipulación y trituración de los materiales y destilación térmica.

- Manipulación y trituración de los materiales:
 - instalaciones basculantes para los contenedores,
 - trituradora inerte,
 - transportador de recogida,
 - extintor de incendios de CO₂ y equipo de inertización,
 - descarga de sólidos con contenedor de carga y transportador de cadena de recogida.
- Destilación térmica:
 - reactor y deslizador de vacío,
 - filtro de gases de escape y ventilador de circulación,
 - supercalentador de los gases de escape,
 - condensadores, enfriadores del producto, contenedores de productos y separación de fases,
 - estación de bomba de vacío,
 - distribución del vapor, gas inerte y agua de refrigeración,
 - medidas de seguridad exhaustivas,
 - sistema de control con dos puestos de trabajo y un ordenador para la recogida de datos.

Los contenedores se transportan desde el área de almacenamiento de estantes altos hasta la instalación y se vacían individualmente en las tolvas de alimentación de la trituradora. Después de la trituración, el material de entrada se guarda en una atmósfera de CO₂ en un transportador de recogida inertizado. Esto se realiza hasta que se alcanza la cantidad necesaria para el procesamiento en el reactor de mezcla (máximo 3 m³) y el reactor se prepara para recoger la siguiente carga. Los vapores de los disolventes de los residuos liberados en la trituradora se recogen de un modo específico con el fin de evitar la producción de mezclas explosivas en la entrada. El aire recogido se alimenta al biofiltro, así como el aire de escape de las bombas de vacío.

Si se ha vuelto a inertizar el reactor de mezcla después del vaciado de la anterior carga, se puede cargar mediante el transportador de recogida. Después de la carga, el reactor de mezcla y el sistema de tuberías se presurizan mediante bombas de vacío a 400 mbar. Después se pone en funcionamiento el ventilador de circulación. El nitrógeno procedente de los gases de escape inertes y creados se puede hacer pasar por el supercalentador en donde se calientan hasta una temperatura de hasta 450 °C. Después fluyen en el reactor donde calientan y secan el material de entrada. Si es necesario, el período de calentamiento se puede ayudar mediante vapor de la caldera. El control de vacío mantiene la presión máxima en la instalación aproximadamente a 100 mbar, por debajo de la del aire ambiental.

Al final del proceso de desecación, es decir, cuando se alcanza la temperatura máxima de 180 a 200 °C en el reactor, el filtro de los gases de escape o el ventilador de circulación, la instalación se evacua a una presión de <100 mbar. Esto se lleva a cabo con el fin de evaporar los residuos de disolventes restantes y para enfriar el material desecado. Para mantener bajas las emisiones en la descarga del material desecado, se agrega agua de refrigeración directamente en el material. Aquí se evapora inmediatamente en vacío y así enfría el producto seco hasta la temperatura de descarga de 50 a 60 °C. La condensación se recupera mediante las instalaciones internas de destilación directamente después de la separación de fases o después del tratamiento. Las partes de disolventes que no se puedan reciclar, se pueden utilizar térmicamente o incinerar en las instalaciones internas de incineración a alta temperatura.

2.3.3.9 Desorción térmica

Finalidad

Separar los compuestos relativamente volátiles de los residuos sólidos.

Principio de funcionamiento

En el proceso de desorción térmica, los contaminantes volátiles y semivolátiles se eliminan de las tierras, sedimentos, lodos y tortas de filtrado. Las temperaturas típicas de funcionamiento están entre 175 y 370 °C, aunque se pueden emplear temperaturas desde los 90 a los 650 °C. La desorción térmica propicia la separación física de los componentes más que la combustión.

Flujos de alimentación y salida

Las tierras contaminadas con compuestos orgánicos no biodegradables, combustibles de petróleo, residuos peligrosos y alquitrán que contenga asfalto o residuos similares son los tipos de residuo que se procesan con este tratamiento. La contaminación se transfiere para otro tratamiento.

Los desorbedores térmicos tratan eficazmente los suelos, lodos y tortas de filtrado y eliminan los compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles. También se pueden eliminar, caso de haberlas, algunas sustancias con un punto de ebullición más alto, como los PCB. Los compuestos inorgánicos no se eliminan fácilmente con este tipo de proceso, aunque algunos metales relativamente volátiles como el mercurio pueden llegar a volatilizarse. Las temperaturas alcanzadas en los desorbedores térmicos por lo general no oxidan los metales.

Descripción del proceso

Después de excavar los terrenos contaminados, el material de los residuos se criba para quitar los objetos que tengan un diámetro superior a entre 4 y 8 cm. El intercambio de calor directo o indirecto vaporiza los compuestos orgánicos, lo que produce un efluente gaseoso que normalmente se trata antes de descargarse al aire. Por regla general, se usa cualquiera de los siguientes diseños de desorbedor: desecador giratorio, desecador de agregado de plantas de asfalto, propulsor térmico y horno con transportador. Los sistemas de tratamiento incluyen tanto unidades de proceso móviles como estacionarias diseñadas específicamente para el tratamiento de tierras, así como desecadores de agregado de asfalto que se pueden adaptar para tratar las tierras. Los sistemas móviles se usan más a menudo debido a los costes reducidos del transporte de la tierra y con el fin de permitir el terraplenado de las tierras tratadas. No obstante, también

se encuentran disponibles sistemas estacionarios que pueden resultar viables para ofrecer servicios regionales. Los gases desorbidos se pueden incinerar.

Usuarios

Tratamiento de tierras contaminadas y alquitrán que contenga asfalto y otros residuos similares.

2.3.3.10 Extracción con vapor

Finalidad

La extracción con vapor se puede usar como método para tratar residuos sólidos, por ejemplo, tierras excavadas contaminadas con hidrocarburos volátiles.

Principio de funcionamiento

En términos generales, la extracción con vapor elimina los componentes orgánicos volátiles de residuos contaminados y crea un flujo de aire subsuperficial suficiente para extraer los contaminantes de la zona vadosa (sin saturar) por volatilización. Conforme se eliminan los vapores de los contaminantes, se pueden emitir directamente al aire o controlarse de diversas formas.

Flujos de alimentación y salida

La extracción con vapor ha sido ampliamente usada para tratar tierras excavadas contaminadas con gasolina o disolventes clorados (por ejemplo, TCE). También se usa a veces para minimizar la migración de vapores a estructuras o áreas residenciales durante alguna otra remediación in situ no incluida en este documento.

Los derrames o pérdidas de combustible normalmente implican líquidos que contienen docenas de componentes diferentes. Para que la eliminación mediante este tratamiento sea eficaz, los contaminantes deberán tener generalmente presiones de vapor superiores a 1,0 mm Hg a -7°C . Es posible que no se puedan extraer completamente los contaminantes solamente con esta técnica.

Descripción del proceso

El éxito del tratamiento para una aplicación en concreto depende de numerosos factores, siendo los dos criterios clave la naturaleza de la contaminación y la naturaleza del residuo (por ejemplo, tierras). La tendencia de los contaminantes orgánicos a la partición en el agua o a ser adsorbidos en las partículas de la tierra también afecta a su eficacia, y de aquí que resulten de interés la solubilidad en agua de los compuestos, la constante de la ley de Henry y el coeficiente de sorción del residuo sólido. La temperatura afecta a cada una de estas variables y, por tanto, al índice de difusión de vapor y el transporte. El aumento de la temperatura es una opción normalmente tenida en cuenta para la mejora de los resultados del tratamiento. Los residuos sólidos se pueden calendar de tres formas: 1) introducción de aire calentado o vapor, 2) entrada de energía electromagnética a través del residuo o 3) liberación de calor a través de una reacción química. El uso de aire calentado o vapor parece ser el planteamiento más ampliamente utilizado.

Los sistemas más habituales incluyen la extracción, supervisión, toma de aire, bombas de vacío, dispositivos de tratamiento de vapor, separadores de vapor y líquido y dispositivos de tratamiento de la fase líquida.

Usuarios

La extracción con vapor se ha usado con éxito durante varios años como tratamiento combinado de dos fases de aguas subterráneas y tierras contaminadas, continuando su uso en aumento. Aunque este tratamiento se puede utilizar para diversos tipos de tierras, su eficacia depende de la capacidad del aire para fluir a través de ellas.

2.3.3.11 Extracción con disolventes

Finalidad

La «extracción con disolventes» resulta mucho más eficaz para el tratamiento de compuestos orgánicos que de compuestos inorgánicos y metales. Se puede utilizar en conjunto con otros procesos para reducir los costes de remediación.

Principio de funcionamiento

La extracción con disolventes difiere del lavado de tierras en que emplea disolventes orgánicos (por ejemplo, propano, butano, dióxido de carbono, aminas alifáticas, como trietilamina, etc.) en lugar de soluciones acuosas para extraer los contaminantes de la tierra. Al igual que en el lavado de tierras, el proceso de separación no destruye los contaminantes. Funciona porque los contaminantes tendrán una mayor solubilidad en el disolvente que en la tierra.

Flujos de alimentación y salida

Los sedimentos, lodos y tierras contaminadas con compuestos orgánicos volátiles (COV), residuos de petróleo, PCB y disolventes halogenados se pueden tratar eficazmente mediante la extracción con disolventes. La eliminación de compuestos inorgánicos como ácidos, bases, sales y metales pesados está limitada, pero estos tipos de compuestos normalmente no obstaculizan el proceso de remediación. Los metales pueden sufrir un cambio químico a una forma menos tóxica o lixiviable, aunque su presencia en los flujos de residuos todavía puede restringir las opciones de eliminación y reciclaje.

Mientras que estos procesos de separación pueden ser más eficaces en el tratamiento de tierras contaminadas con combustible de petróleo, generalmente se emplean para tratar suelos que contienen metales o compuestos orgánicos pesados.

Se pueden analizar los contaminantes concentrados y posteriormente designarlos para otro tratamiento, reciclaje o reutilización antes de su eliminación. Mientras que la extracción con disolventes puede mejorar el estado de los sólidos, a menudo todavía puede necesitar deshidratación, tratamiento de los compuestos orgánicos residuales, separaciones adicionales, estabilización o cualquier otro tratamiento. Será necesario analizar el agua del proceso de deshidratación, los sólidos y el agua del extractor para ayudar en la elección del tratamiento más adecuado y la eliminación.

Descripción del proceso

El proceso de remediación comienza con la excavación del terreno contaminado y su cribado para quitar los objetos grandes. En algunos casos, se agrega disolvente o agua al residuo con el fin de ayudar a bombearlo hasta la unidad de extracción. En el extractor, se añade disolvente y se mezcla con el residuo para facilitar la disolución de los contaminantes en el disolvente. Las pruebas de laboratorio pueden determinar qué disolvente separa adecuadamente los contaminantes de la tierra. Generalmente, el disolvente tendrá una presión de vapor más alta que los contaminantes (es decir, un punto de ebullición más bajo), por lo que con una presión correcta o un cambio de temperatura, el disolvente se podrá separar de los contaminantes, comprimirse y reciclarse en el extractor.

Usuarios

Tratamiento de tierras contaminadas.

2.3.3.12 Excavación y extracción de tierras contaminadas

Finalidad

Las actividades de excavación se pueden llevar a cabo en aislamiento, pero normalmente forman parte de procesos de tratamiento in situ como incineración, desorción térmica, biotratamiento ex situ y determinados tratamientos físico-químicos.

Principio de funcionamiento

Si el remedio seleccionado es la eliminación de la tierra contaminada, normalmente el terreno excavado se transporta externamente a un vertedero.

Flujos de alimentación y salida

Tierras contaminadas y tierras descontaminadas.

Descripción del proceso

Normalmente se utiliza maquinaria de ingeniería civil.

Usuarios

La excavación y eliminación de tierras contaminadas con combustibles es una práctica común.

2.3.3.13 Lavado de tierras

Finalidad

El lavado de tierras se lleva a cabo para separar las fracciones descontaminadas y los contaminantes.

Principio de funcionamiento

El lavado de tierras es un proceso ex situ en el que los terrenos contaminados se excavan y se llevan a un proceso de lavado con agua. Funciona sobre el principio de que los contaminantes están asociados con partes de determinado tamaño de las partículas de tierra y que estos contaminantes se pueden disolver o suspender en una solución acuosa o eliminarse separando la arcilla y las partículas de sedimento del terreno en masa. A veces se usan agentes surfactantes o quelantes para mejorar la eficacia de la separación (se puede hacer referencia a los tratamientos que usan aditivos como extracciones químicas). La solución acuosa que contiene los contaminantes se trata mediante métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales.

El proceso se basa en el uso de agua y elimina los contaminantes de la tierra de una de las dos siguientes formas:

- a. disolviéndolos o suspendiéndolos en la solución de lavado (que se tratará posteriormente usando métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales);
- b. concentrándolos en un volumen más pequeño de tierra a través de la separación por tamaño de partículas, separación por gravedad y desgaste con abrasión (similar a las técnicas usadas en la industria de procesamiento de minerales).

El concepto de reducir la contaminación de la tierra a través del uso de la separación por tamaño de partículas se basa en el descubrimiento de que la mayoría de contaminantes orgánicos e inorgánicos tienden a aglutinarse, bien química o físicamente, en arcillas, sedimentos y partículas de tierra orgánica. Los sedimentos y la arcilla están unidos a las partículas de arena y grava por procesos físicos, fundamentalmente por compactación y adhesión. Los procesos de lavado que separan las partículas finas (es decir, arcilla y sedimentos) de las partículas de tierra más gruesas (es decir, arena y grava) separan y concentran eficazmente los contaminantes en un volumen más pequeño de tierra que se puede tratar o eliminar más fácilmente.

Flujos de alimentación y salida

El lavado de tierras resulta eficaz para una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo los residuos de petróleo y combustibles. La eficacia de eliminación va del 90 al 99 % para compuestos orgánicos volátiles (COV) y del 40 al 90 % para compuestos semivolátiles. Los compuestos con solubilidades de agua más bajas, como los metales, pesticidas o PCB, requieren a veces agentes ácidos o quelantes para ayudar a su eliminación. Se ha informado acerca de algunos proyectos a escala piloto para el tratamiento de la contaminación de radionucleidos. El proceso de lavado también se puede aplicar a la arena y la grava contaminadas procedentes de residuos de la construcción y de demoliciones.

Mientras que estos procesos de separación pueden ser más eficaces en el tratamiento de tierras contaminadas con combustibles de petróleo, generalmente se emplean para tratar suelos que contienen metales o compuestos orgánicos pesados.

El lavado de tierras puede resultar eficaz para la remediación de terrenos con pequeñas cantidades de partículas de arcilla y sedimentos, pero las grandes cantidades de éstas mitigan la eficacia de este método.

Descripción del proceso

Antes del proceso de lavado de tierras es necesaria la excavación y eliminación de los escombros y grandes objetos. A veces se añade agua a la tierra para formar un lodo que se pueda bombear. Después de preparar el terreno para el lavado de la tierra, se mezcla con agua, agregándose a veces agentes para facilitar la extracción.

Después de la separación del agua de lavado, la tierra se aclara con agua limpia y se puede devolver a las instalaciones. Las partículas de tierra suspendidas se eliminan mediante gravedad del agua de lavado, en forma de lodo. A veces se usa floculación para ayudar en la eliminación de los lodos. Este lodo está más contaminado que la tierra original y se hace pasar por otro tratamiento o se elimina de forma segura. El agua de lavado utilizada, de la que se extrae el lodo, se trata y se recicla. Es posible que los sólidos residuales del proceso de reciclaje puedan necesitar un tratamiento posterior.

La figura 2.10 presenta un esquema de flujos general de una instalación de lavado de tierras.

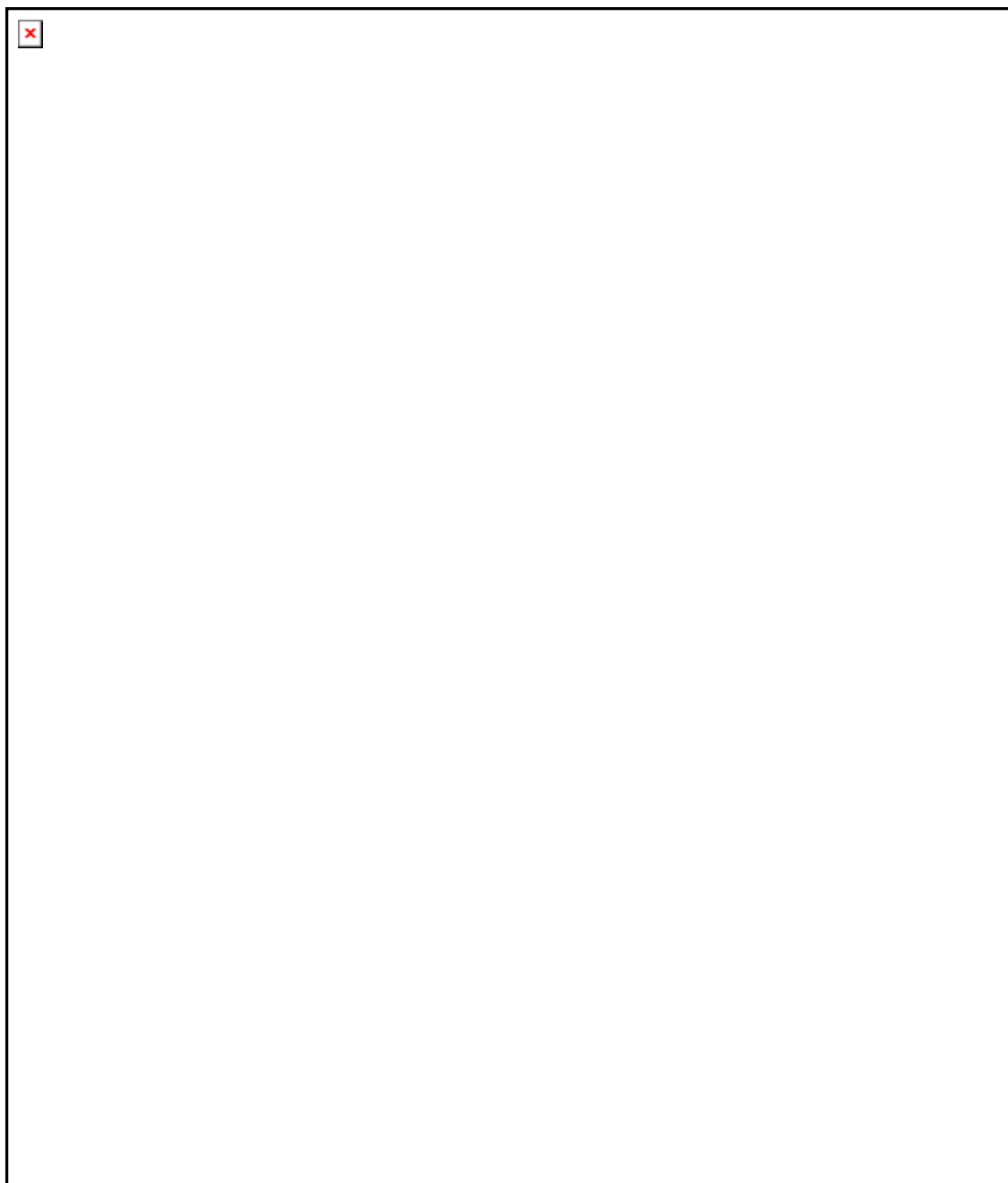


Figura 2.10: Esquema general de flujos de una instalación de lavado de residuos [123, Perseo, 2003]

Normalmente, lo que el lavado de tierras hace es separarlas en un volumen pequeño de sedimento y arcilla altamente contaminado y un gran volumen de tierra más gruesa limpia.

Los métodos de separación física son métodos mecánicos para separar mezclas de sólidos con el fin de obtener una forma concentrada de algunos componentes. Las separaciones físicas incluyen el tamizado, desgaste con abrasión o el uso de separadores hidrogravimétricos como hidrociclones, cribas, clasificadores en espiral, etc. Además, en la mayoría de casos, los procesos usan agentes químicos basados en agua que proporcionan tanto dispersión como extracción. En algunos casos se pueden agregar agentes químicos para mejorar la calidad de la separación.

Usuarios

La técnica de lavado de tierras está muy implantada en los Países Bajos, Alemania y Bélgica, debido a la estructura arenosa de los terrenos locales. En 2003, estaban en funcionamiento ocho

instalaciones en los Países Bajos, seis en Alemania y seis en Bélgica. La tecnología está empezando a desarrollarse más en Suiza y en el norte de Italia. La mayoría de instalaciones tienen una capacidad de 30 a 60 toneladas por hora. Además, se han realizado un gran número de proyectos de remediación in situ con instalaciones móviles que normalmente presentan capacidades inferiores (de 10 a 30 toneladas por hora).

2.3.3.14 Tratamiento del amianto

Actualmente en la UE los residuos contaminados con amianto se depositan en vertederos, aunque están apareciendo nuevas técnicas destinadas a tratarlos antes de su vertido.

2.3.3.15 Tratamiento de las cenizas de fondo

Finalidad

Mejora la calidad de las escorias/cenizas de fondo y, por tanto, ayuda a incrementar sus posibilidades para ser usadas en materiales de construcción.

Las buenas instalaciones para el tratamiento de las cenizas de fondo pueden producir un material de gran calidad, principalmente fracciones de chatarra y mineral. Los residuos procedentes del tratamiento constituyen del 1 al 5 %. Los residuos se devuelven para su incineración. Además, se reduce la cantidad de metales pesados y, por ejemplo, el arsénico (sales) que se descarga al medio ambiente. Por todo ello, el tratamiento de las cenizas de fondo reduce la masa del residuo que se vierte.

Principio de funcionamiento

Existen dos tipos de instalaciones de tratamiento de cenizas de fondo: de proceso húmedo y de proceso seco.

Flujos de alimentación y salida

Cenizas de fondo de incineradoras y otros procesos de combustión.

Descripción del proceso

Los siguientes puntos describen algunas de las medidas generales que se pueden tomar para ayudar a mejorar la calidad de las escorias con el fin de volver a utilizarlas después de haber sido generadas (es decir, después de la incineración y del proceso de desecación). Éstas incluyen (sin importar el orden):

- separación de las cenizas de fondo del resto de productos de la combustión, como polvo de los filtros y la caldera, con la intención de reducir las posibilidades de lixiviación del residuo (por ejemplo, reducción de la lixiviación de los metales pesados);
- evitar la mezcla de cenizas de fondo de diferentes orígenes;
- eliminación de algunos materiales orgánicos que no se hayan incinerado por completo. Después, incineración de este material orgánico eliminado. Normalmente se aplica cuando los residuos de salida se usan como material de construcción;
- deshidratación de las cenizas de fondo (habitualmente se secan almacenándolas por un período de 2 a 4 semanas); este proceso requiere una base sólida (como una superficie de hormigón) y un sistema de recogida para el efluente;
- utilización de un proceso de lavado preliminar para reducir la fracción fácilmente soluble en agua de las cenizas;
- separación de la fracción de chatarra de las cenizas;
- clasificación y exclusión de la fracción fina de las cenizas (la fracción fina es la más problemática para el medio ambiente puesto que se lixivia fácilmente). La exclusión de la fracción pequeña de las cenizas de fondo produce más vertido, puesto que no existen alternativas reales para dicha fracción;

- curado de las cenizas. Esto mejora la consistencia y reduce los efectos negativos de la lixiviación. Un sistema de ventilación y un sistema de circulación del agua instalado pueden permitir una mejor calidad de las cenizas de fondo;
- analizar el eluato y los sólidos para valorar las posibilidades de recuperación del material.

El proceso de curado requiere una base sólida y un sistema de recogida de los efluentes. El tiempo normal de curado es de hasta 3 meses. El final del proceso de curado se advierte por los cambios específicos de temperatura. La criba, separación y preparación húmeda de las cenizas de fondo son pasos importantes para lograr unos buenos resultados.

Existen dos tipos diferentes posibles de análisis de las cenizas de fondo. El primer método analiza los compuestos móviles disponibles (análisis del eluato, es decir, el lixiviado) de la parte de las cenizas. El segundo método analiza todos los compuestos de las cenizas (análisis de sólidos). Es común usar ambos métodos en paralelo para definir los efectos ambientales de las cenizas de fondo. No obstante, el análisis del eluato es más importante con la valoración de la posibilidad de recuperación de material.

Usuarios

Las autoridades están contemplando estas técnicas como un paso importante para disminuir el uso de vertederos. La cantidad de cenizas de fondo procedentes de los procesos de combustión aumentará conforme se haga más frecuente la incineración de residuos en Europa. No sólo se trata del beneficio ambiental que supone la reducción de residuos para eliminar, sino que también se tiene en cuenta la reutilización de la fracción de chatarra.

El proceso húmedo muestra ventajas relativas a las sales de cloruros y la lixiviación final del cobre, pero no es obligatorio para lograr la calidad de cenizas de fondo que permite la reutilización como material de construcción en, por ejemplo, los Países Bajos y Alemania.

2.3.4 Operaciones unitarias utilizadas en el procesamiento físico-químico de residuos sólidos y lodos

Este apartado contiene técnicas físico-químicas comunes usadas en el sector del tratamiento de residuos. Se trata principalmente de operaciones unitarias. En la tabla 2.9 se muestra la finalidad y los principios de los tratamientos y sus principales usuarios.

Técnica	Finalidad y principio de funcionamiento	Usuarios
Adsorción	Consulte la tabla 2.8	
Centrifugado	Consulte la tabla 2.8	Se aplica a residuos líquidos. Normalmente se usa centrifugado junto con recuperación de la fase orgánica
Decantación	El principio de funcionamiento es la diferencia de densidad de los distintos componentes a separar	Se aplica a residuos líquidos (por ejemplo, separación de dos líquidos inmiscibles, recuperación de capas líquidas después de la separación de sólidos suspendidos o floculaciones biológicas/químicas)
Desecación	Desecación térmica como evaporación	Se aplica a tierras y lodos contaminados
Extracción	Consulte la tabla 2.8	
Filtration	Consulte la tabla 2.8	

Técnica	Finalidad y principio de funcionamiento	Usuarios
Flotación	Conulte la tabla 2.8	<p>La flotación se usa en los residuos líquidos cuando la sedimentación por gravedad no resulta apropiada. Se produce cuando:</p> <ul style="list-style-type: none"> • la diferencia de densidad entre las partículas suspendidas y el agua es demasiado baja, • hay una limitación de espacio en la instalación, • el residuo contiene aceite o grasa que es necesario eliminar antes del tratamiento, • se necesita la recuperación de los lodos
Recuperación de metales		
Procesos de separación de aceite	Conulte la tabla 2.8	Separación por gravedad de los aceites solubles y las mezclas de aceite y agua
Oxidación	Conulte la tabla 2.8	<p>La oxidación química de residuos es una tecnología perfectamente establecida que puede destruir una amplia gama de moléculas orgánicas, incluyendo carbonos orgánicos clorados, COV, mercaptanos, fenoles y materias inorgánicas como cianuros. Los agentes oxidantes más comunes usados para el tratamiento de residuos peligrosos son el ozono, peróxido de hidrógeno y cloro. Normalmente se agrega luz ultravioleta (UV) junto con el ozono o el peróxido de hidrógeno para acelerar la oxidación de los COV clorados.</p> <p>Se trata de una operación de pretratamiento muy común en muchas instalaciones, pero tiene varias tecnologías</p>
Depuración	Depuración por aire	
Sedimentación	Conulte la tabla 2.8	Se aplica a residuos líquidos. Los lodos liberados de la etapa de sedimentación tienen normalmente alrededor del 1 % de contenido de sólidos secos
Extracción con aire	Conulte la tabla 2.8	<p>La <i>extracción con aire</i> es uno de los procesos más comúnmente usados para la separación del agua contaminada con COV, como disolventes. Se puede usar para eliminar los hidrocarburos halogenados o no halogenados de soluciones acuosas diluidas. Las soluciones con un alto contenido de amoníaco también pueden someterse a dicho pretratamiento para reducir la concentración de éste.</p> <p>La <i>extracción con vapor</i> se utiliza para la eliminación de compuestos volátiles y a veces semivolátiles de las aguas residuales.</p>

Técnica	Finalidad y principio de funcionamiento	Usuarios
Tratamientos supercríticos	Extracción y oxidación de contaminantes procedentes de aguas o sedimentos contaminados. Los fluidos supercríticos (por ejemplo, dióxido de carbono, agua, amoníaco, ciclohexano, etc.) son materiales a elevadas temperaturas y presión que muestran propiedades entre las de un gas y un líquido. En la extracción, las materias orgánicas de las tierras, sedimentos o agua se disuelven en el fluido en condiciones de elevadas temperaturas y presión, liberándose después de la extracción a temperaturas y presiones más bajas. En la oxidación del agua supercrítica, el aire y el agua contaminada se juntan por encima del punto crítico del agua y la oxidación completa de los compuestos orgánicos se produce con rapidez	Tratamiento de COP
Pretratamiento de compuestos químicos que reaccionan con el agua	Éstos se depuran en una solución cáustica y tanto los licores tratados como los licores de los reactores se tratan en la instalación principal	Pretratamiento de materiales como cloruro de tionilo, cloruro de acetileno, tetracloruro de silicio con agua para liberar los gases de los ácidos

* Los tratamientos térmicos incluidos son aquellos que no se incluyen en el BREF sobre IR

Tabla 2.9: Operaciones unitarias comunes usadas en los tratamientos físico-químicos [53, LaGrega, et al., 1994], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [150, GTT, 2004]

2.3.5 Tratamientos físico-químicos de otros residuos

Tratamiento físico químico de residuos que contienen COP

Se han identificado tres formas para la destrucción y transformación irreversible del contenido de COP de los residuos [154, PNUMA, 2004]. Una es la incineración sobre la tierra (que no se incluye en este documento sino en el BREF de incineración de residuos que también incluye las técnicas con plasma); otra es el uso del residuo como combustible (por ejemplo, coincineración en hornos de cemento, que no se incluye en este documento) y la última es el tratamiento físico-químico del residuo. Este apartado se concentra en aquellos tratamientos físico-químicos relacionados con tipos muy específicos de residuos (por ejemplo, residuos que contienen PCB, dioxinas, furanos, etc.) que se resumen a continuación en la tabla 2.10.

Técnica	Principio de funcionamiento	Flujos de alimentación y salida	Descripción del proceso
Descloración con álcalis metálico	Reacción del álcalis metálico con átomos de cloro contenidos en los compuestos clorados	Residuos de entrada: aceites PCB. Residuos de salida: compuestos orgánicos (aceite que se puede reutilizar) y sales.	La dispersión se lleva a cabo a una temperatura por encima del punto de fusión del sodio, es decir, 98 °C. Al ser líquida, la superficie del metal se puede renovar continuamente. De esta forma se puede lograr un índice de reacción razonable, lo que reduce los costes del proceso de descontaminación. El proceso deberá evitar la formación de polímeros (que se producen en una o dos de las tecnologías identificadas) o se tendrá que tener en cuenta la formación de este sólido e introducir un paso de separación para producir el aceite reutilizable puro.
Hidrogenación de los COP	El hidrógeno reacciona con los compuestos orgánicos clorados o los contaminantes orgánicos no clorados, como los HAP, a altas temperaturas	Residuos de entrada: fluidos de transformadores; sólidos de PCB a granel, incluyendo condensadores eléctricos; y mezclas de pesticidas residuales con DDT de alta resistencia. Residuos de salida: principalmente metano y cloruro de hidrógeno para PCB y metano y cantidades menores de hidrocarburos ligeros para HAP.	Típico proceso utilizado en las refinerías de aceite mineral llevado a cabo a temperaturas de 850 °C o superiores. Esta técnica convierte aproximadamente el 40 % del metano producido en hidrógeno a través de la reacción del cambio del agua y la fracción restante para el hidrógeno del reformador de vapor catalítico. De esta forma, el proceso puede funcionar sin un suministro externo de hidrógeno. Con los residuos altamente concentrados, el proceso produce un exceso de metano. Utiliza aire de combustión obtenido externamente o aire ambiente del lugar después de filtrarlo primero a través de carbón activo para el proceso de combustión.
Proceso de electrones solvatados	Los electrones libres de una solución de electrones solvatados convierten los contaminantes en sustancias relativamente dañinas y sales	Residuos de entrada: compuestos orgánicos halogenados, incluyendo PCB, dioxinas, pesticidas, clorofluorocarburos (CFC) y agentes para la guerra química. Residuos de salida: se dice que las tierras descontaminadas son apropiadas para devolverlas a su emplazamiento y como beneficio adicional enriquecido del nitrógeno procedente de trazas de amoníaco residual.	Esta técnica utiliza un álcali o metal de tierra alcalina disuelto en un disolvente como amoníaco o determinadas aminas o éteres para producir una solución que contiene electrones libres y cationes de metales. La eficacia de destrucción varía del 86 al 100 %. El cloro y otros halógenos se extraen selectivamente de los haluros orgánicos mediante electrones libres y capturados por los cationes de metales para formar sales (por ejemplo, CaCl ₂). Por ejemplo, una molécula de PCB se puede convertir en bifenilo en una rápida reacción a temperatura ambiente.
Oxidación en agua supercrítica	Técnica de alta temperatura y presión que usa las propiedades del agua supercrítica en la destrucción de los COP	Residuos de entrada: residuos que contienen compuestos orgánicos y residuos tóxicos. Residuos de salida: dióxido de carbono; hidrógeno para agua; los átomos de cloro derivados de los compuestos orgánicos clorados para iones de cloro; nitrocompuestos para nitratos; azufre para sulfatos; y fósforo para fosfatos.	Condiciones supercríticas.

Nota: algunos otros tratamientos fuera del ámbito de este documento se encuentran disponibles para el tratamiento de residuos contaminados con COP. Éstos son la incineración en hornos de cemento, incineración de residuos peligrosos y tratamientos con plasma.

Tabla 2.10: Algunos tratamientos específicos para los residuos que contienen PCB y COP [100, PNUMA, 2000], [154, PNUMA, 2004]

Tratamientos físico-químicos de los CFC

El objetivo es tratar el residuo para transformar el CFC en ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico. En la figura 2.11 se muestra un ejemplo de una instalación de estas características.



Figura 2.11: Tratamiento de CFC para generar ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico [150, GTT, 2004]

Tratamiento físico químico de residuos que contienen mercurio

Finalidad

El objetivo es tratar el residuo para separar el mercurio.

Principio de funcionamiento

En el proceso de destilación en vacío, el residuo que contiene mercurio se evapora en condiciones de vacío a una temperatura de entre 300 y 650 °C. Los componentes líquidos (por ejemplo, mercurio, agua y aceite) se destilan del residuo y se condensan. En la condensación, se establece una separación entre el mercurio y el destilado. El mercurio metálico se drena y posiblemente se refina. Después se recicla como materia prima secundaria.

Flujos de alimentación y salida

Lodos que contienen mercurio procedente de la industria de producción de aceite y gas, baterías, catalizadores, filtro de carbón activo, termómetros, residuos del sector dental, tubos fluorescentes, arena y tierra de limpiezas a chorro.

El destino del residuo procedente del depósito de vacío depende del residuo tratado. Se puede usar como materia prima secundaria (por ejemplo, para baterías) o enviarse a vertederos (por ejemplo, en el caso de lodos que contienen mercurio).

Descripción del proceso

El proceso se muestra en la figura 2.12.



Figura 2.12: Destilación en vacío de residuos que contienen mercurio
[156, VROM, 2004]

Usuarios

Se usa en Suecia, Países Bajos y Bélgica.

2.4 Tratamientos aplicados principalmente para recuperar los materiales de los residuos

Este apartado incluye aquellos tratamientos y procesos principalmente diseñados para recuperar los materiales o partes de materiales que contienen los residuos. Normalmente estos procesos dependen en gran medida del tipo de residuo tratado y de los materiales que se desea o que es necesario producir. Los materiales producidos a partir de estos tratamientos son materiales que se pueden reutilizar con la misma finalidad (por ejemplo, aceites lubricantes) o recuperarse para otros fines no energéticos (por ejemplo, recuperación de metales de catalizadores). Cuando el material se trata para usarse posteriormente como combustible, el tema se incluye en el apartado 2.5.

«Regeneración» es el término que se emplea en el presente documento para describir estos tratamientos excepto en el caso de la regeneración de aceites usados en los que se usa el término «rerrefinado». Con esto no se trata de realizar ninguna clase de definición. Sólo se debe tener en cuenta como una convención para ayudar en la lectura del documento.

2.4.1 Rerrefinado de aceites usados

[5, Concawe, 1996], [7, Monier y Labouze, 2001], [11, Jacobs y Dijkmans, 2001], [13, Marshall, et al., 1999], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [96, Straetmans, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

Hay dos opciones principales para el tratamiento de aceites usados. Una es el tratamiento del aceite usado para producir un material que se usará principalmente como combustible o para otros usos (por ejemplo, absorbente, aceite para desmoldeo, aceite de flotación, etc.). Éstos incluyen tratamientos como la limpieza de aceite usado, el termofraccionamiento y la gasificación, por ejemplo, que se incluyen en el apartado 2.5.2.4. La otra forma es tratar el aceite usado para reconvertirlo en un material que se pueda usar como aceite base para producir lubricantes. Esta última forma se conoce en este documento como «rerrefinado». Este apartado detalla los diferentes tratamientos que se aplican actualmente en los aceites usados para la limpieza y rerrefinado. Esta clasificación se ha adoptado para todo el documento, aunque no está concebida para tratar de definir ninguno de los códigos «R» de la legislación sobre residuos de la CE.

Hoy en día existen o se están desarrollando numerosos procesos de tratamiento en Europa. Los más significativos se muestran en la siguiente figura 2.13. Esta figura también ofrece un resumen de cómo se han incluido estos tratamientos en el presente documento.

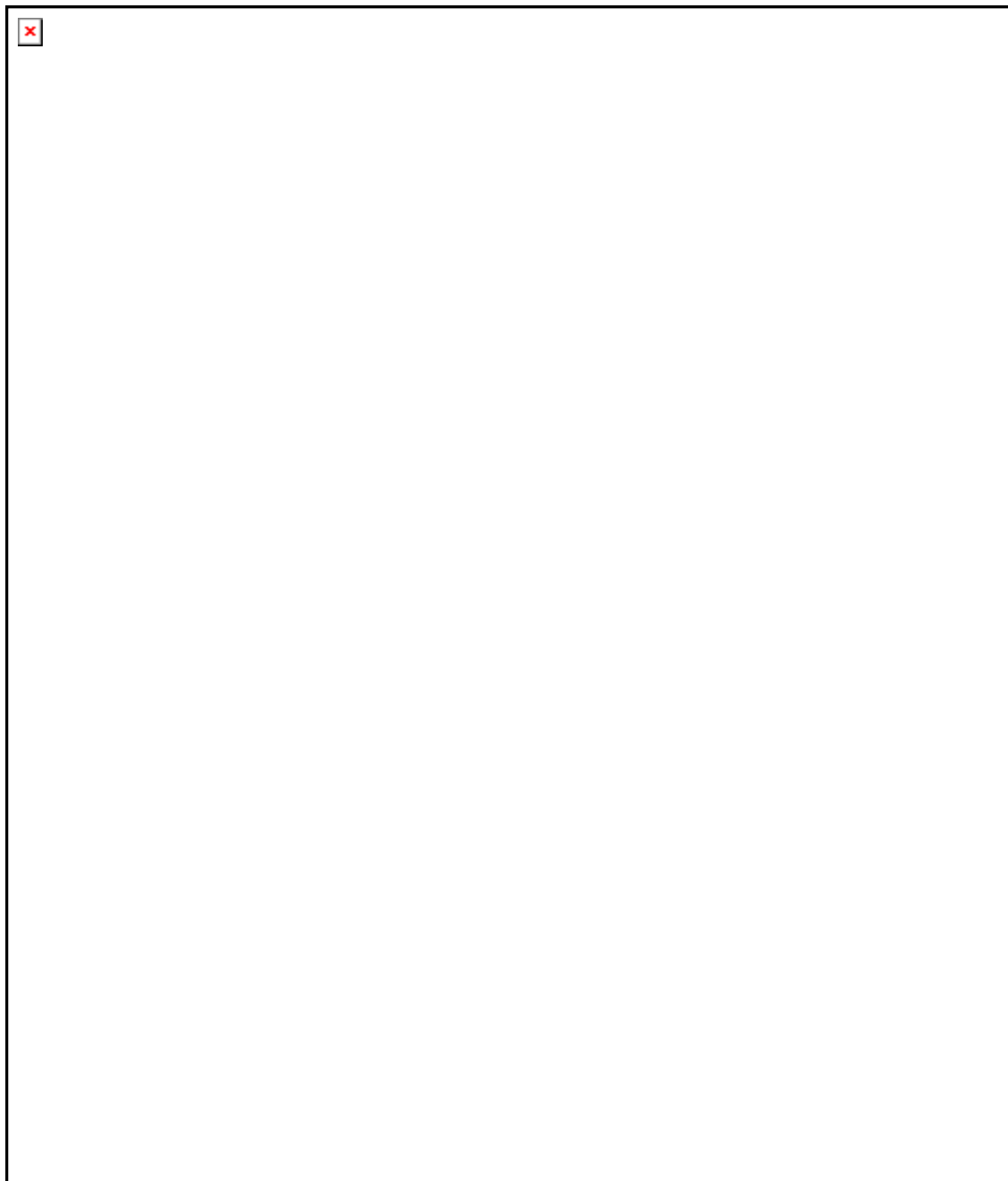


Figura 2.13: Tratamientos de aceites usados y planteamiento de división empleado en este documento

[7, Monier y Labouze, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

Nota: 1) Aceite especialmente hidráulico o de corte.

2) Aceites de motor sin cloro + aceites hidráulicos sin color + aceites minerales hidráulicos + aceites minerales diatérmicos (de acuerdo con la clasificación API).

3) Aceite tratado que todavía contiene los metales pesados, halógenos y azufre que contenía el aceite usado original (AU).

4) Sustitutos de otros combustibles líquidos secundarios (CLS) o combustibles pesados o coque de carbón o petróleo.

5) Como combustible de arranque de hornos.

Para reutilizar un aceite usado para hacer un lubricante, es necesario limpiarlo o rerefinarlo con el fin de convertirlo en un producto apropiado para volver a usarlo como aceite base para producir lubricantes. Estos procesos implican la eliminación de impurezas, defectos y cualquier producto sobrante de su antiguo uso. Generalmente este tipo de proceso elimina todas las impurezas y aditivos y sólo deja el aceite base. Posteriormente, los productores de lubricantes agregan sustancias para conseguir las especificaciones de un producto virgen.

En la figura 2.14 se muestran los principales procesos utilizados en las instalaciones de valorización de aceite. Se trata de una amalgama de operaciones unitarias. No todas las operaciones se aplican en todas las instalaciones. En la práctica, la mayoría de las instalaciones utilizan sólo unos pocos de los procesos mostrados y normalmente hay dos o más flujos paralelos procedentes de cada proceso.

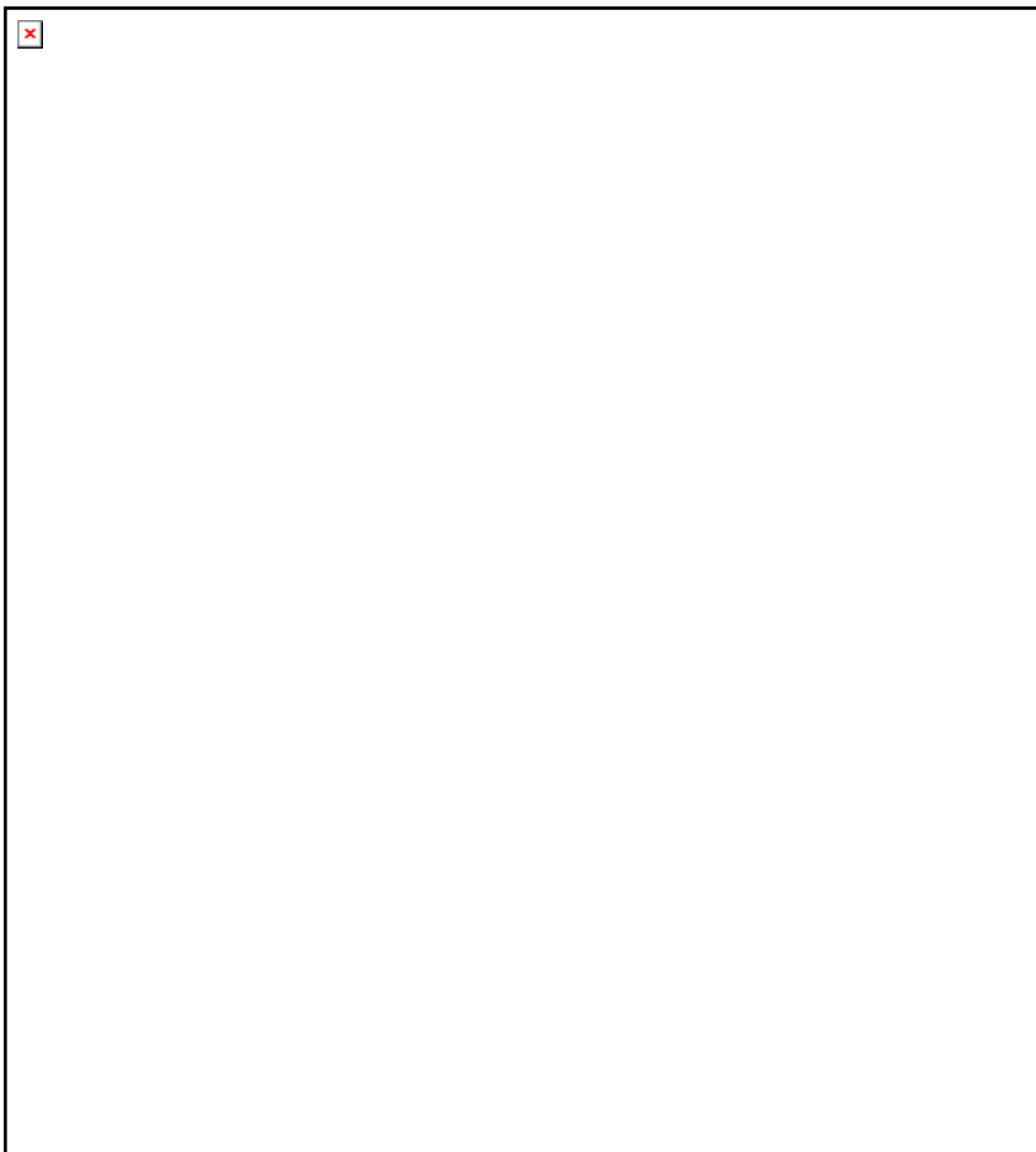


Figura 2.14: Esquema de flujos genérico de una instalación de tratamiento de aceite usado
Nota: el esquema indica los elementos de tratamiento comunes. Algunos de ellos son alternativos y no todos se dan en una única instalación. Las líneas marrones corresponden a los residuos o lodos y las azules al agua residual.
Basado en [56, Babbie Group Ltd, 2002]

Los tratamientos de rerrefinado pueden diferir dependiendo de la tecnología usada para una o varias de las siguientes operaciones: pretratamiento, limpieza, fraccionamiento y acabado. En los apartados siguientes se describe brevemente cada uno de estos procesos.

2.4.1.1 Pretratamiento del aceite usado

Finalidad

Deshidratar (extracción del agua), vaciar de combustible (eliminar los finales ligeros y las trazas de combustible como nafta, etc.) y eliminar sedimentos. Este proceso de pretratamiento no se compara con los otros sistemas de tratamiento de aceites debido a que no crea un producto final, ni alcanza el objetivo final del tratamiento.

Principio de funcionamiento

El agua y los sedimentos se eliminan del aceite usado mediante un simple tratamiento físico/mecánico. La sedimentación se usa en algunos casos para eliminar agua y lodos del aceite usado y en los sistemas de tratamiento de efluentes para extraer el aceite y los sólidos de éstos. Generalmente la sedimentación tiene lugar usando el efecto de la gravedad en depósitos de sedimentación, clarificadores o separadores de placas, aunque también se pueden usar sistemas de centrifugación o destilación.

Flujos de alimentación y salida

La alimentación típica es aceite usado recogido. El producto es aceite usado limpiado. Después de este tratamiento, el aceite limpio se puede usar en una de las opciones que se describen más adelante (apartados 2.4.1.2 a 2.4.1.4).

Descripción del proceso

Las principales técnicas usadas son el asentamiento, sedimentación, filtrado y centrifugado.

Asentamiento

Se llena un depósito y se deja hasta que se asiente, el estrato superior de aceite se espuma y de forma similar se quita la capa de agua. Dependiendo de lo sucio que esté el material, el lodo se puede dejar en el fondo del depósito para acumularlo en varios ciclos de asentamiento antes de quitarlo. El proceso de asentamiento se ayuda a veces mediante calor con el fin de reducir la viscosidad. En muchos casos, se deja una capa intermedia de emulsión de aceite y agua. La separación se puede estimular mediante la adición de calor y agentes químicos. Un posterior proceso de asentamiento aplicado a la capa de «agua» puede servir para separar aún mejor la fase de aceite y agua.

Sedimentación

Filtración/colado

Las partículas se eliminan mediante coladores, filtros o tamices.

Centrifugado

Destilación

El agua se puede eliminar mediante esta técnica.

Usuarios

Se usa en muchas tecnologías de rerrefinado de aceites usados (consulte la tabla 2.12)

2.4.1.2 Limpieza de aceites usados

Finalidad

La limpieza incluye el desasfaltado y la eliminación de residuos asfálticos: metales pesados, polímeros, aditivos y otros compuestos de degradación.

Principio de funcionamiento

La destilación y la adición de ácidos son las formas más habituales de lograr los anteriores resultados.

Flujos de alimentación y salida**Descripción del proceso**

Limpieza con ácido: los aditivos, polímeros y los productos de oxidación y degradación se eliminan mediante el contacto con ácido sulfúrico o precipitados como sulfatos (por ejemplo, metales). También se utiliza para la limpieza de arcillas, en la que el aceite clarificado se mezcla con la arcilla por absorción para eliminar los compuestos polares y no deseados que queden.

Usuarios

Se usa en muchas de las tecnologías de rerrefinado de aceite usado (consulte la tabla 2.12).

2.4.1.3 Fraccionamiento del aceite usado

Finalidad

Esto implica la separación de los aceites base usando sus diferentes temperaturas de ebullición para producir dos o tres cortes (fracciones de destilación).

Principio de funcionamiento

Este proceso de separación física utiliza las diferencias en los puntos de ebullición de los componentes.

Flujos de alimentación y salida

Normalmente aceite usado pretratado.

Descripción del proceso

Las unidades de destilación en vacío pueden variar en complejidad desde una simple columna de división hasta una columna completa de destilación fraccional, como se usa en las refinerías de aceite mineral.

Usuarios

Se usa en muchas tecnologías de rerrefinado de aceite usado (consulte la tabla 2.12).

2.4.1.4 Acabado de aceites usados

Finalidad

La limpieza final de los diferentes cortes (fracciones de destilación) se lleva a cabo para conseguir las especificaciones concretas del producto (por ejemplo, mejorar el color, olor, estabilidad térmica y de oxidación, viscosidad, etc.). El acabado también puede incluir la eliminación de HAP en el caso de un hidroacabado completo (alta temperatura y presión) o la extracción con disolventes (baja temperatura y presión).

Principio de funcionamiento y flujos de alimentación y salida

Técnica	Principio de funcionamiento	Flujos de alimentación y salida
Tratamiento con álcalis	Se usa KOH o NaOH	Se mejoran las propiedades de color.
Tierra de blanqueo	Este es un tratamiento terciario para eliminar el color negro del aceite (provocado por la descomposición del carbón de los aditivos), para que se pueda comparar visualmente el aceite base virgen.	No se pueden lograr los nuevos objetivos establecidos por la aplicación de las nuevas especificaciones para aceites de motor de vehículos de pasajeros. En particular, el color de la tierra producida es más oscuro del requerido.
Pulido con arcillas	Se trata de un proceso similar al proceso con ácido y arcilla, pero aquí no se usa el ácido. La bentonita es la arcilla que se usa normalmente. Después la arcilla se separa del aceite usando filtros prensa.	Generalmente el pulido con arcilla no produce los aceites base de alta calidad de la extracción con disolventes o el hidrotatamiento.
Hidrotatamiento	El cloro y el azufre se eliminan de la fracción de aceite usado a alta temperatura en una atmósfera de hidrógeno y en contacto con un catalizador, lo que los convierte en HCl y H ₂ S. El fósforo, plomo y cinc también se eliminan en este proceso. El HAP se puede eliminar mediante un hidroacabado completo (alta temperatura y con hidrógeno a alta presión)	La calidad de los destilados es muy alta y las fracciones de petróleo se pueden comercializar inmediatamente. Para el proceso se necesita hidrógeno. Se forma sulfuro de hidrógeno, que se puede reducir posteriormente a azufre.
Limpieza con disolventes	Los HAP se eliminan de los aceites base extrayéndolos en el disolvente (en el intervalo de ppb). La extracción con disolventes también mejora el índice de color y viscosidad.	La alimentación para la extracción debe ser un aceite base de buena calidad con todos los metales pesados, etc. extraídos y ya fraccionados en los cortes deseados. Los productos son un aceite base de alta calidad, el disolvente usado que se regenera y un pequeño flujo de aceite base (aprox. 3 % del flujo de aceite base total) con una alta concentración de HAP, que se usa como producto combustible.

Tabla 2.11: Técnicas de acabado usadas para el tratamiento de aceites usados [7, Monier y Labouze, 2001], [86, GTT, 2003], [139, UBA, 2003]

Descripción del proceso

El proceso de hidrotatamiento se puede encontrar en el BREF sobre refinerías.

Usuarios

Se usa en muchas tecnologías de rerrefinado de aceite usado (consulte la tabla 2.12)

2.4.1.5 Tecnologías usadas para el rerrefinado de aceites usados

La tabla 2.12 resume las diferentes tecnologías usadas para la regeneración del aceite usado.

Tecnología	Flujos de alimentación y salida	Descripción del proceso			
		Pretratamiento	Limpieza	Fraccionamiento	Acabado
Lavado	Aceite de transformadores, lubricantes industriales (por ejemplo, hidráulicos y de corte). Producto: lubricante industrial de limpieza devuelto a los usuarios	Adsorción Calentamiento Filtración Deshidratación al vacío			
Recuperación	Aceites industriales (especialmente aceites hidráulicos). Producto: lubricante industrial de limpieza devuelto a los usuarios	Centrifugación y filtrado			
Procesamiento con arcillas	El producto presenta unas características pobres en términos de viscosidad y volatilidad. Sólo se puede emplear en la formulación de un tipo limitado de lubricante industrial.	<i>Unidad predestilación</i> Extracción en vacío atmosférico	<i>Tratamiento con arcillas</i> Por contacto con una gran cantidad de arcilla de adsorción		
Ácido/arcilla + destilación		<i>Extracción atmosférica por corriente de vapor o en vacío</i>	<i>Tratamiento con ácido o arcilla</i> Eliminación de contaminantes del aceite usado mediante tratamiento con ácido (normalmente ácido sulfúrico) o tratamiento con arcilla	<i>Destilación</i> El aceite limpio se destila a continuación para recuperar dos o tres cortes, más un gasóleo general	<i>Neutralización y filtración</i> Los cortes de aceite lubricante, junto con el gasóleo, se neutralizan con hidróxido de calcio y se filtran
Floculación surfactante con ácidos					

Tecnología	Flujos de alimentación y salida	Descripción del proceso			
		Pretratamiento	Limpieza	Fraccionamiento	Acabado
Destilación/tratamiento químico o extracción con disolventes		<i>Destilación al vacío</i> La 1. ^a etapa elimina el agua, la nafta y el final ligero. La 2. ^a etapa elimina el gasóleo, el aceite para husillos o fuelóleo ligero	<i>Destilación al vacío</i> Las etapas 3. ^a y 4. ^a separan los diferentes cortes de aceite lubricante del residuo (en los que se concentran todos los metales, aditivos y productos de degradación)		El <i>tratamiento químico</i> se lleva a cabo en una operación cerrada, seguido por una destilación/extracción para corregir la volatilidad y el punto de inflamabilidad. Alternativamente, se puede incluir una <i>etapa de extracción con disolventes</i> para eliminar los HAP
Destilación y extracción con disolventes (proceso Vaxon)			<i>Destilación al vacío</i>		<i>Extracción con disolventes</i>
Extracción con disolventes y destilación (proceso Sener-Interline)	Los aceites base recuperados tienen una buena calidad.	<i>Pretratamiento químico</i>	<i>Extracción con propano.</i> El propano líquido extrae los aceites base y rechaza el agua, asfalto, aditivos y otros contaminantes insolubles.	<i>Destilación atmosférica y en vacío</i> El aceite extraído se destila primero en una columna de destilación atmosférica para separar los hidrocarburos ligeros y el propano. El aceite restante se fracciona en una columna de destilación en vacío para recuperar los aceites base lubricantes.	
Desasfaltado con propano e hidroacabado	La tecnología produce aceites base de buena calidad y un residuo asfáltico (apropiado como alquitrán).	<i>Predestilación</i> En una columna de destilación	<i>Extracción con propano</i> Desasfaltado con propano	<i>Destilación atmosférica en vacío</i>	<i>Hidroacabado con un catalizador de NiMo</i>

Tecnología	Flujos de alimentación y salida	Descripción del proceso			
		Pretratamiento	Limpieza	Fraccionamiento	Acabado
Destilación y tratamiento con álcalis (Vaxon - C.F.T. – Cator)	Aceites usados de motores e industriales, todo tipo de lubricantes sintéticos excepto PAG soluble en agua, aceites de silicio y algunos tipos de ésteres. Los aceites base y residuos asfálticos son los principales productos. Las impurezas y los sedimentos permanecen en el residuo sólido final, que tiene una naturaleza asfáltica.	<p><i>Destilación</i> En todo el proceso, el pretratamiento forma parte del mismo proceso, desde que la primera fase produce una deshidratación a lo largo de toda la destilación con todos los tipos de aceite usados de lubricantes.</p>			<i>Tratamiento con álcalis</i>
Evaporadores de películas finas (EPF) y diferentes procesos de acabado *	Los metales pesados, polímeros, aditivos y otros productos de degradación se eliminan como un residuo asfáltico.	<p><i>Predestilación y tratamiento químico (1.º)</i> Se elimina el agua, los finales ligeros y las trazas de combustible contenidas en el aceite usado. Extracción atmosférica en vacío + tratamiento químico (opcional) para minimizar la corrosión y las incrustaciones del equipo posterior.</p>	<p><i>EPF (2.º)</i> Se realiza a temperaturas muy altas y en vacíos.</p>	<p><i>Destilación (4.º)</i> La fracción de aceite lubricante se separa en diferentes cortes de aceite en una columna de vacío.</p>	<p><i>Uno de los siguientes (3.º)</i> a) <i>Hidrotratamiento</i> b) <i>Tratamientos con arcilla</i> c) <i>Extracción con disolventes</i> d) <i>Extracción con disolventes + hidrotratamiento</i></p>
Proceso de desasfaltado térmico (DAT)		<p><i>Predestilación</i> Extracción atmosférica en vacío + tratamiento químico. El último tratamiento se usa para minimizar la corrosión y las incrustaciones del equipo posterior y para facilitar el posterior paso de desasfaltado.</p>	<p><i>Asentamiento + DAT</i> Desasfaltado por asentamiento. La eliminación de residuos se logra con destilación en el fondo de la columna de destilación, lo que lleva a cabo el fraccionamiento de los diferentes cortes de aceite lubricante.</p>		<p>a) <i>Arcilla</i> b) <i>Hidrotratamiento</i></p>

Tecnología	Flujos de alimentación y salida	Descripción del proceso			
		Pretratamiento	Limpieza	Fraccionamiento	Acabado
Proceso de hidrogenación por contacto directo (DCH)	El aceite usado y el gas de hidrógeno caliente pasan el proceso como una mezcla Produce unos aceites base de buena calidad (grupo II).	<i>Pretratamiento</i> No es necesario	<i>Reactor de hidrogenación de seguridad (1.ª)</i> El hidrógeno y el vapor de aceite se conducen a un reactor catalítico de lecho fijo de dos etapas. El reactor de seguridad elimina cualquier resto de contaminantes de metal, continuando con la desintegración de cualquier azufre, nitrógeno o compuestos halógenos que pueda haber en el reactor de conversión.	<i>Fraccionamiento (3.ª)</i> La fracción de aceite lubricante se separa en diferentes cortes de aceite en una columna de vacío	<i>Hidrotratamiento (2.ª)</i> Separador por corriente de vapor de alta presión Reactor catalítico de lecho fijo
Tratamiento con sosa cáustica y tierra de blanqueo (ENTRA)	Aceite usado y sosa cáustica. El aceite base producido es de buena calidad (grupo II) con buen rendimiento.	<i>Predestilación</i> Deshidratación. Alimentación con la adición de sosa cáustica (3 % relativo a aceites usados de lubricantes secos) y tierra de blanqueo (2 % relativo a aceite usado de lubricante seco)	<i>Reactor tubular</i> Tiene lugar la desintegración de los compuestos metalorgánicos, halogenados, azufre y nitrógeno no deseados. Un control avanzado de la temperatura y el tiempo de retención en el reactor tubular lineal minimiza la desintegración de aquellas moléculas orgánicas que todavía sean válidas como componentes de aceites lubricantes.	<i>Fraccionamiento</i> La fracción de aceite lubricante se separa en diferentes cortes de aceite en el reactor tubular lineal.	<i>Neutralización</i> Neutralización con ácido, tratamiento con arcilla
Integración en la producción de aceite base de una refinería	El aceite producido representa una buena calidad de aceite base rerrefinado.	a) Predestilación en una columna de destilación b) Extracción en vacío atmosférico	<i>EPF</i>	<i>Unidad de extracción aromática</i> de la refinería para eliminar HAP y otros compuestos no deseados.	<i>Hydroacabado</i>

Tecnología	Flujos de alimentación y salida	Descripción del proceso			
		Pretratamiento	Limpieza	Fraccionamiento	Acabado
Integración en una refinería después del pretratamiento	El aceite usado se vuelve a procesar en una refinería para permitir la combinación en productos combustibles. Los contaminantes que se encuentran dentro de los aceites usados normalmente impiden su uso como materia prima para el desintegrador catalítico o en la producción de aceite lubricante.	El agua y los sedimentos se eliminan del aceite usados mediante un paso de predestilación	El aceite usado con predestilación se combina directamente con el residuo atmosférico regular de una refinería.		

* 1.^a, 2.^a, 3.^a y 4.^a se refiere a la secuencia de cuándo se llevan a cabo las operaciones dentro del proceso. Cuando no hay dichos números, la secuencia es la más común, es decir, pretratamiento, limpieza, fraccionamiento y acabado.

Tabla 2.12: Tecnologías para el rerrefinado de aceite usado
 [5, Concawe, 1996], [7, Monier y Labouze, 2001], [86, GTT, 2003], [139, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

2.4.2 Regeneración de disolventes residuales

[53, LaGrega, et al., 1994], [83, Indaver, 2002], [129, Cruz-Gomez, 2002], [130, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004], [156, VROM, 2004], [157, UBA, 2004]

Finalidad

Una vez que los disolventes residuales pasan a un gestor de residuos, existen dos opciones principales para su tratamiento:

- utilización del poder calorífico empleándolos directamente como combustible o combinados con otros combustibles. En el apartado 2.5.2.1 se trata el uso de los disolventes residuales como combustible;
- tratamiento de los disolventes residuales para reconvertirlos en un material que se pueda volver a usar como disolvente. Este tratamiento se conoce en este documento como «regeneración». Este apartado detalla los diferentes tratamientos que se aplican en la actualidad a los disolventes residuales para limpiarlos y regenerarlos con el fin de producir disolventes.

Los disolventes y los ácidos orgánicos se pueden tratar en un grado que permita devolverlos al ciclo de producción como materia prima secundaria.

Principio de funcionamiento

La limpieza se consigue mediante diferentes clases de destilaciones, que son los tipos principales de procesos de separación empleados.

Flujos de alimentación y salida

La regeneración de disolventes es una práctica común en muchas industrias, siendo muchos los que hoy en día se regeneran. En la tabla 2.13 se muestran los más comunes.

Familia de hidrocarburos	Sustancias químicas
Alcoholes	Etilo, isopropilo
Compuestos alifáticos	Hexano, heptano
Compuestos aromáticos	Benceno, nafta aromática, tolueno, xileno, trementina
Compuestos clorados	Tricloroetileno, percloroetileno, cloruro de metileno
Ésteres	Acetato de etilo, acetato de butilo
Cetonas	Metil etil cetona, metil isobutil cetona
Mezclas de disolventes	Tolueno/xileno, cetonas, alcoholes, fenoles, tolueno/heptano

Tabla 2.13: Disolventes residuales normalmente recuperados
[53, LaGrega, et al., 1994], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

Descripción del proceso

La figura 2.15 y 2.16 muestran ejemplos de esquemas de flujos de instalaciones de regeneración de disolventes residuales.

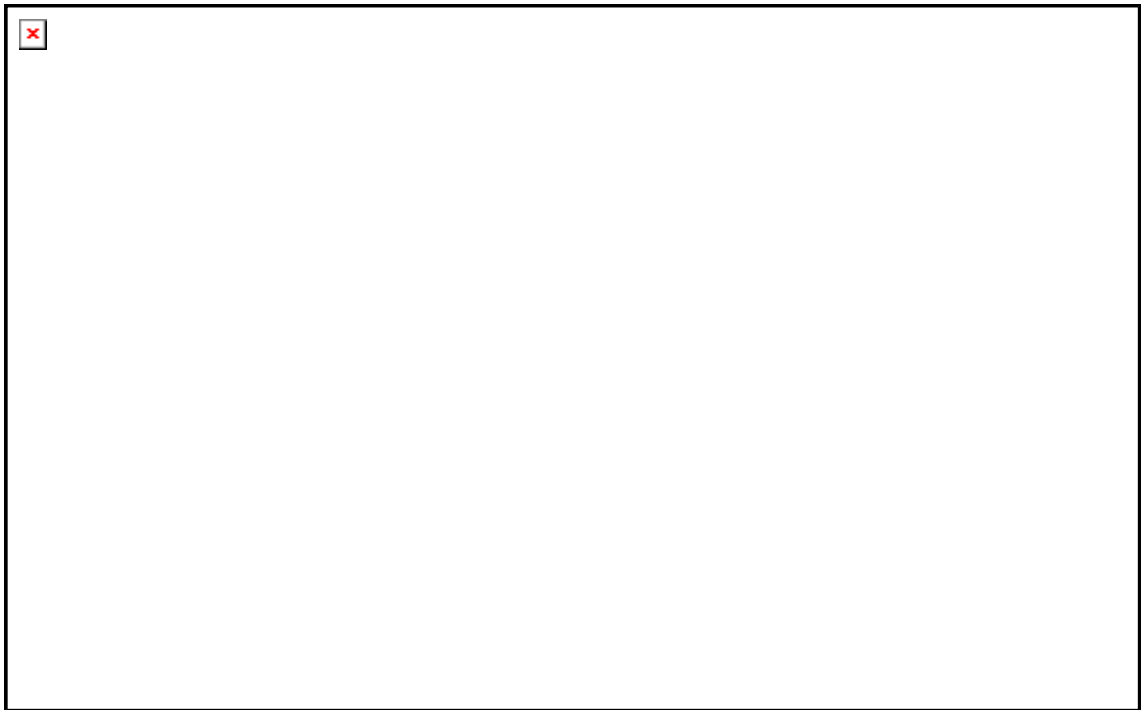


Figura 2.15: Ejemplo de instalación de regeneración de disolventes residuales [129, Cruz-Gomez, 2002]

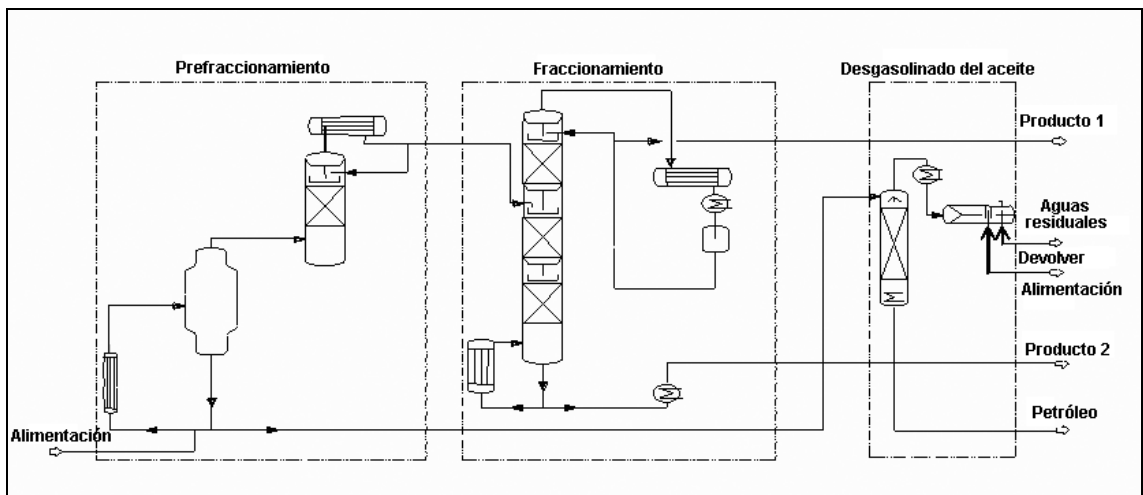


Figura 2.16: Ejemplo de esquema de flujos de regeneración de disolventes clorados [150, GTT, 2004]

La tabla 2.14 muestra las técnicas que se usan normalmente para la regeneración de disolventes residuales.

Técnica	Finalidad y principio de funcionamiento	Usuarios
Absorción	Transfiere el disolvente de un gas a un líquido	
Adsorción	Valoriza el disolvente del aire cargado de disolvente	
Centrifugación	Elimina el sólido suspendido o separa dos fases líquidas distintas (o insolubles), siendo una fase, por ejemplo, el disolvente que se va a recuperar	
Condensación	Elimina los vapores del disolvente de flujos de gas	
Decantación	Separación por fases debida a las diferentes densidades. Separación de disolvente líquido y agua	
Destilación	Separación de mezclas líquidas. Evaporadores de películas finas. Rectificación. Fraccionamiento	La destilación de disolventes contaminados para un posterior uso parcial como combustible en calderas es una de las técnicas que se usan para reducir los niveles de metal en el disolvente (existen algunas instalaciones en Bélgica, Italia y España)
Evaporación	Eliminación del disolvente como forma de vapor de soluciones o lodos	
Filtración	Separación de partículas sólidas de disolventes líquidos	
Extracción líquido-líquido	Se aplica a disolventes líquidos	
Separación con membranas	Recuperación de disolventes de flujos de líquido o gas	
Neutralización	Se aplica a disolventes líquidos	
Salificación	Se aplica a disolventes líquidos	
Sedimentación	Se aplica a disolventes líquidos con un alto nivel de sólidos	
Almacenamiento	Véase el apartado 2.1.4	
Extracción con aire	Transfiere el disolvente de un flujo líquido a un flujo de gas	

Tabla 2.14: Operaciones unitarias empleadas para la regeneración de disolventes residuales [129, Cruz-Gomez, 2002], [130, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

Usuarios

Esta actividad se lleva a cabo en la industria química, farmacéutica y de pinturas. Actualmente en los Países Bajos hay cinco instalaciones. A continuación se describe un ejemplo:

La capacidad de evaporación depende del calor de evaporación específico de los disolventes destilados y de cantidades hasta 1,3 t/h. El uso de un separador de reflujos puede ayudar a mejorar la separación, aunque en ese caso se reduce la velocidad de flujo. Los destilados multifase se enfrían y, a continuación, se separan en fases más pesadas y más ligeras que se recogen después en diferentes contenedores. La destilación se puede llevar a cabo tanto a presión ambiente como en vacío. Además, la instalación puede llevar a cabo otros procesos como el secado de disolventes azeotrópico o la esterificación azeotrópica. Adicionalmente se pueden tratar ácidos orgánicos en una burbuja de cerámica específica.

El material de entrada que contiene disolventes se bombea en los contenedores de destilación. Estos contenedores se calientan indirectamente mediante vapor fresco de un máximo de 6 bar a aproximadamente 158 °C. Para los disolventes altamente contaminados, existen burbujas de destilación de acero equipadas con agitadores para la homogeneización de los contenidos. Las mezclas de disolventes residuales que contienen pequeñas cantidades de residuos o sustancias

altamente corrosivas, como ácidos orgánicos, se pueden destilar usando burbujas esmaltadas. Los gases de escape resultantes se transportan a través de una columna cerrada y se condensan en las tuberías del refrigerador general.

2.4.3 Regeneración de catalizadores residuales y valorización de componentes procedentes de las técnicas de reducción

[86, GTT, 2003], [125, Ruiz, 2002], [150, GTT, 2004]

Como se mencionó en el apartado *Ámbito*, este apartado trata la regeneración de los catalizadores residuales y la valorización de componentes procedentes de técnicas de reducción. Existen formas alternativas para regenerar catalizadores gastados, como la recuperación de los metales de éstos (algunos tratamientos de recuperación de metales preciosos ya están incluidos en el BREF de metales no ferrosos), regeneración de catalizadores (incluida en este documento) y el tratamiento de catalizadores gastados como materias primas para otros procesos que no se incluyen en el presente documento (por ejemplo, el tratamiento de catalizadores gastados basados en alúmina de la industria del cemento que se encuentran incluidos en el BREF de cemento y cal). Este documento sólo incluye instalaciones de regeneración ex situ. La regeneración in situ forma parte normalmente del proceso de producción en donde se usan los catalizadores, por lo que no se incluye en el ámbito de este documento.

Este apartado incluye también información sobre la valorización de componentes de residuos generados por las técnicas de reducción (consulte también el apartado 1.2.8)

Finalidad

Los catalizadores residuales y los residuos procedentes de técnicas de reducción normalmente se eliminan. No obstante, la mayoría de catalizadores utilizados en las técnicas de reducción (por ejemplo, reducción del NO_x) se regeneran.

Principio de funcionamiento

La regeneración de catalizadores de metales preciosos, nobles y de platino para eliminar los depósitos de coque puede restaurar con éxito el rendimiento de la actividad, selectividad y estabilidad de los catalizadores nuevos originales. Los depósitos de coque se eliminan mediante combustión controlada.

Flujos de alimentación y salida

Los catalizadores de la industria de refinería, como los usados en el hidrotratamiento, hidrodesintegración, reforma e isomerización, normalmente se regeneran. Los catalizadores de metales nobles también se regeneran. Los metales que por lo general suele interesar económicamente recuperar son el Rh, Cd, Pt, Ir, el níquel Raney y algunos catalizadores de petróleo con Ni-Co, Co-Mo, Co.

Descripción del proceso

La regeneración térmica ex situ se lleva a cabo en equipos especialmente diseñados, así como en equipos estándar, como, por ejemplo, calcinadores con transportador de banda de lecho móvil o calcinadores giratorios.

La regeneración de catalizadores de metales preciosos, de platino y nobles para eliminar los depósitos de coque puede restaurar con éxito el rendimiento de la actividad, selectividad y estabilidad de los catalizadores nuevos originales. Los depósitos de coque se eliminan mediante combustión controlada.

Como ejemplo, después de quemar el coque, los catalizadores que contienen platino se pueden regenerar mediante un tratamiento de cloro a una temperatura elevada. El tratamiento de cloro provoca la redispersión del platino convirtiéndolo en cloruro de platino volátil, que se transporta

después a través de la fase de gas y se deposita en las paredes de los poros, en donde se trata en H_2 y se reduce. El resultado es una dispersión aumentada del platino y un catalizador reactivado.

Las operaciones unitarias comunes usadas en este sector son los secadores, hornos, equipos de lixiviación y extracción de disolventes. Algunos procesos de final de línea usados para controlar las emisiones de aire son las técnicas de eliminación de polvos (por ejemplo, precipitadores electrostáticos, ciclones, filtros de tejido, filtros de cerámica, reactores, llamas), sistemas de depuración de gases (por ejemplo, reactores, sistemas de captura de dioxinas, sistemas de reducción de COV) y tratamientos de aguas residuales.

Usuarios

Existe un proceso muy preciso en Francia (Eurocat) que se aplica al reciclaje de una familia de catalizadores específicos (hidrotratamiento) procedentes principalmente de refinerías. En la UE sólo hay una instalación de proceso con calcinador de cinta transportadora en movimiento que se encuentra en Luxemburgo desde 1979.

2.4.4 Regeneración de carbón activo

[29, UK Environment Agency, 1996], [41, R.U., 1991], [42, R.U., 1995], [150, GTT, 2004]

Finalidad

Tratar el carbón activo gastado para producir un material con propiedades y calidades muy similares al carbón activo original.

Principio de funcionamiento

Los tratamientos térmicos son los principales procesos que se usan para la regeneración. Durante el proceso, se lleva a cabo un secado, desorción térmica y tratamiento de calor.

Flujos de alimentación y salida

El carbón activo se encuentra comercialmente disponible en tres formas: extruido, granular y en polvo. Puesto que el carbón en polvo es extremadamente difícil de regenerar, esta actividad no se realiza con él. Por tanto, en este apartado sólo se tienen en consideración las dos primeras formas.

Descripción del proceso

Normalmente la regeneración se lleva a cabo térmicamente y, en general, consta de las siguientes operaciones:

Recepción, manipulación y deshidratación

El carbón activo gastado se recibe normalmente en la instalación como un sólido drenado en cisternas. En el lugar de la regeneración se añade agua con el fin de convertir el carbón en lodo, que se alimenta en un depósito en donde se deshidrata y carga en un horno para ser regenerado.

Regeneración térmica

Después de la separación del agua, el carbón húmedo se introduce en el horno para su regeneración. Durante la regeneración térmica, se lleva a cabo el secado, la desorción térmica (es decir, la eliminación de las sustancias químicas orgánicas) y el tratamiento térmico a alta temperatura (de 650 a 1000 °C) en una atmósfera controlada ligeramente oxidante.

Los tipos de equipamiento que se usan generalmente son hornos de solera múltiple, hornos rotatorios de alimentación directa y hornos rotatorios de alimentación indirecta. También se pueden usar hornos de lecho fluidificado y hornos infrarrojos.

Tratamiento de los gases de combustión

Usuarios

El uso más común de estas técnicas está en la regeneración térmica del carbón activo, especialmente en instalaciones que regeneran carbones de grado industrial o para agua potable y alimentos. Esto se debe al potencial que tienen los carbones procedentes de diversos orígenes para contaminarse con diferentes sustancias orgánicas. Los otros métodos, como la regeneración con vapor, tienden a aplicarse en áreas específicas y normalmente se realizan in situ.

Los hornos de solera múltiple se usan ampliamente en todo el mundo. Junto con los hornos de solera múltiple, los hornos rotatorios (con alimentación directa o indirecta) son los tipos más comunes de hornos que se emplean. Los hornos de lecho fluidificado se usan principalmente en Europa en las aplicaciones de agua potable y también en Norteamérica para las aguas residuales y la decoloración.

Otros tratamientos disponibles son la regeneración química, biológica y por vapor. No obstante, sólo se usan para la regeneración in situ y no en instalaciones aparte. La regeneración con vapor es una técnica no destructiva y se usa principalmente cuando el carbón gastado contiene compuestos altamente volátiles. El vapor o los vapores de COV resultantes se condensan. La regeneración química es una técnica no destructiva que se usa con diversos desorbantes gaseosos o líquidos. Existen numerosos materiales regenerantes disponibles, muchos de los cuales son altamente específicos para la aplicación individual.

2.4.5 Regeneración de resinas

[41, R.U., 1991], [42, R.U., 1995], [150, GTT, 2004]

Finalidad

Para regenerar resinas de intercambio de iones con el fin de volver a utilizarlas.

Principio de funcionamiento

La regeneración térmica puede lograrse empleando agua caliente o vapor.

Flujos de alimentación y salida

La alimentación se hace con resina gastada, y como resultado del proceso se obtiene resina regenerada. Las fuerzas de atracción encontradas en la adsorción de la resina son normalmente más débiles que las de la adsorción del carbón activo granulado. Por ello, la regeneración de las resinas se puede obtener mediante métodos simples no destructivos como el lavado con disolventes, siendo posible la valorización de la sustancia disuelta. Normalmente no es viable la regeneración térmica de los adsorbentes de la resina debido a su sensibilidad a la temperatura, aunque en los últimos años se encuentran disponibles algunos nuevos productos que se pueden regenerar con agua caliente.

Descripción del proceso

Regeneración con vapor

La regeneración con vapor sólo es posible si los límites de la temperatura de las resinas están dentro de los de la presión de vapor disponible. Por ejemplo, los adsorbentes poliméricos basados en estireno son estables normalmente a los 200 °C, mientras que las resinas basadas en sustancias acrílicas sólo son estables a los 150 °C. El disolvente adsorbido y los otros componentes orgánicos pueden hacer que la matriz de la resina aumente y se debilite. Por tanto, es importante que la eliminación de estos componentes mediante vapor no produzca la interrupción o fragmentación de la matriz de la resina.

Regeneración con agua caliente

Usuarios

Esta técnica no está muy extendida, pero se puede aplicar a la desalinización del agua salobre para su uso como agua en procesos de limpieza. No se debería usar para aplicaciones de agua desionizada.

2.4.6 Regeneración de ácidos y bases residuales

[40, Militon y Becaud, 1998], [86, GTT, 2003], [144, GTT, 2002], [150, GTT, 2004]

Como se describe en el apartado 1.2.10, sólo se regeneran ácidos sulfúrico y clorhídrico residuales.

2.4.6.1 Regeneración de ácido sulfúrico usado

Como se mencionó en el apartado 1.2.10, existen dos métodos alternativos para la regeneración del ácido sulfúrico usado. Una es la descomposición de los ácidos sulfúricos usados para obtener SO_2 , que se consigue en un horno a temperaturas de alrededor de 1000 °C. El SO_2 producido se usa entonces como materia prima en la producción de H_2SO_4 . Ambos procesos (la descomposición térmica y la conversión del SO_2 en H_2SO_4) se encuentran en el BREF LVIC-AAF [62, EIPPCB, 2003]. Hay varios procesos industriales en los que se usa el ácido sulfúrico (por ejemplo, en la producción de dióxido de titanio). En estos casos, el reciclaje del ácido sulfúrico usado forma parte del proceso y se incluirá en el BREF que comprenda dicho proceso industrial. El segundo proceso alternativo para regenerar el ácido sulfúrico usado se basa en la reconcentración del ácido sulfúrico débil/usado/residual, con o sin la separación de las impurezas potenciales (por ejemplo, sales). Esto también se incluye en este documento BREF.

Finalidad

La reutilización del ácido sulfúrico usado con la misma finalidad que tuvo originalmente o para un nuevo uso.

Principio de funcionamiento

Reconcentración del ácido sulfúrico débil mediante evaporación.

Flujos de alimentación y salida

El ácido sulfúrico usado/débil se concentra en una solución de ácido más fuerte.

Descripción del proceso

Se han conseguido concentraciones cercanas al 70 % de H_2SO_4 , consistiendo el proceso en la evaporación del agua sin demasiado H_2SO_4 en la fase de vapor. El intervalo de temperaturas varía en función de los procesos. Existen muchos procesos, pero los más comunes se basan en los evaporadores de circulación forzada, que permiten un funcionamiento estable. Debido a la gran circulación, cualquier sólido que se encuentre en el ácido permanecerá en la suspensión y se podrá separar en el ácido concentrado, si fuera necesario.

Debido a que el coste del proceso depende en gran medida de la energía (vapor de presión media), un evaporador de efecto múltiple puede reducir mucho los costes operativos. El funcionamiento en vacío permite unas temperaturas de trabajo más bajas y el uso de materiales más estandarizados para la construcción del equipo.

Otro proceso para la concentración del ácido débil utiliza gases calientes (procedentes del ácido sulfúrico o de cualquier otro proceso), poniéndolos en contacto con el ácido débil; el agua se evaporará hasta su saturación. El proceso tiene lugar a presión atmosférica, pero, debido al volumen de gas relativamente alto, es necesario evitar que el ácido se vea arrastrado por dispositivos antivaho u otros dispositivos similares.

El proceso de combustión sumergida consiste en la producción de gases de combustión a temperaturas muy altas (por encima de los 1500 °C), directamente sobre el nivel de ácido usado; el gas de combustión pasa a través del ácido usado permitiendo que el agua se evapore de él y sufriendo un enfriamiento adiabático a 150 – 250 °C. Antes de emitirlos al aire, es necesario enfriar los gases y depurarlos. En general, no se espera que se produzcan emisiones de SO₂ demasiado altas, pero los niveles de NO_x sí podrían llegar a ser importantes.

Otros procesos, como el de Chemico, se han usado durante 70 años para la concentración del ácido sulfúrico. El principio es muy parecido, excepto en que la combustión no tiene lugar dentro del recipiente y la temperatura es considerablemente inferior (alrededor de los 600 °C).

Usuarios

La industria del metal.

2.4.6.2 Regeneración de ácido clorhídrico usado

En la mayoría de casos, el HCl se produce como un subproducto para los procesos de cloración. Normalmente el HCl se produce en la fase gaseosa y se reutiliza directamente en un proceso químico. También se puede disolver en agua y usarse como materia prima para la producción de otras sustancias químicas, como productos para el tratamiento de aguas (por ejemplo, FeCl₃) en la electrolisis o como agente de neutralización. El HCl se puede utilizar en aplicaciones como el decapado de metales o la regeneración de intercambios de iones.

Posteriormente, el ácido clorhídrico usado se neutraliza en lugar de regenerarse. Consulte los apartados 2.3.1 y 2.3.2. Existen algunos otros tratamientos de regeneración, como, por ejemplo, la reutilización como ácido decapante. No obstante, para este uso, no se llevan a cabo tratamientos, por lo que no se incluyen en este documento BREF.

2.4.7 Tratamiento de residuos fotográficos sólidos

Finalidad

Separar el residuo en dos flujos principales: uno que contiene algunos componentes valiosos (por ejemplo, Ag) y otro para usarse como combustible.

Principio de funcionamiento

La plata que contiene el fijador se desplata por medio de electrolisis (consulte el apartado 2.4.8 sobre tratamiento de residuos fotográficos líquidos). La reacción química para disolver la plata de la película es: $Ag + Fe^{3+} \leftrightarrow Ag^+ + Fe^{2+}$.

Flujos de alimentación y salida

Plata y energía.

Descripción del proceso

El residuo de la película se corta en pequeños trozos con una trituradora. Los trozos se lavan con un líquido desplateador y se aclaran con agua. Los posibles agentes desplateadores son blanqueador fijador desplateado (contiene hierro) o cloruro de hierro. Cuando se usa blanqueador fijador, se reduce el consumo de materias primas. Cuando se usa cloruro de hierro, el cloruro de plata se separa y después se disuelve de nuevo mediante un fijador. Los trozos de plástico se secan, después de lo cual se pueden incinerar con recuperación de energía o usarse como combustible secundario en un horno de cemento.

Usuarios

Industrias fotográficas.

2.4.8 Tratamiento de residuos fotográficos líquidos

Finalidad

Separar el flujo de residuos en sus componentes valiosos (por ejemplo, Ag).

Principio de funcionamiento

Los líquidos desplatados y los residuos del procesamiento de las fotos con un bajo contenido en plata, como los reveladores se tratan por medio de la precipitación de sulfuros y filtración con membranas. Agregando una solución de sulfuro de sodio, los iones de plata y otros metales se precipitan. Presionando la solución a través de membranas, se filtran las partículas sólidas. La materia filtrada por las membranas pasa por un tratamiento posterior. La plata contenida en el lodo se recupera mediante un tratamiento pirometalúrgico y un refinado. Estos tratamientos se describen en el BREF de industrias de procesos de metales no férricos. Los residuos de líquidos de procesamientos fotográficos con un contenido bajo en plata se tratan mediante eliminación química. Agregando borohidruro de sodio, la plata metálica se precipita. Ésta se recupera del sedimento que la contiene. El líquido desplatado se somete a un tratamiento posterior.

Flujos de alimentación y salida

Plata.

Descripción del proceso

El tratamiento del residuo líquido de procesamientos fotográficos desplatados con un alto contenido en plata consta de los siguientes pasos:

- la plata se extrae del residuo de procesamiento fotográfico con alto contenido (>100 mg/l) mediante electrolisis. Después del refinado, la plata se vuelve a utilizar;
- para una concentración de plata de 5 a 100 mg/l, se aplica el desplataje por electrofloculación o precipitación con sulfuros y filtración con membranas. El lodo creado se envía para su incineración;
- antes de un posterior tratamiento, el agua residual del procesamiento del color se evapora en un evaporador de vacío debido a la presencia de compuestos orgánicos tóxicos y difíciles de degradar;
- tratamiento en un filtro de carbón activo, en el que los elementos orgánicos y metálicos grandes que contienen agentes complejos son absorbidos por el carbón. Cuando el carbón se satura, se regenera y se vuelve a utilizar;
- purificación por medio de floculación y flotación;
- tratamiento biológico;
- evaporación en un evaporador de vacío. El condensado se puede usar como agua de procesos o descargarse;
- el lodo procedente del tratamiento biológico y de floculación/flotación, así como el residuo del evaporador, se incineran o se envían a un vertedero.



Figura 2.17: Tratamiento de residuos fotográficos líquidos
[156, VROM, 2004]

Usuarios

Industrias fotográficas.

2.5 Tratamientos dirigidos principalmente a la producción de material para usar como combustible o para mejorar su valorización energética

[5, Concawe, 1996], [7, Monier y Labouze, 2001], [8, Krajenbrink, et al., 1999], [11, Jacobs y Dijkmans, 2001], [13, Marshall, et al., 1999], [21, Langenkamp y Nieman, 2001], [40, Militon y Becaud, 1998], [50, Scori, 2002], [52, Ecodeco, 2002], [55, UK EA, 2001], [56, Babtie Group Ltd, 2002], [57, EIPPCB, 2001], [58, CEFIC, 2002], [59, Hogg, et al., 2002], [64, EIPPCB, 2003], [81, VDI y Dechema, 2002], [86, GTT, 2003], [114, Hogg, 2001], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004].

Este apartado incluye aquellos tratamientos y procesos que se aplican principalmente para obtener un material, preparado a partir del residuo, para usarse como combustible o para cambiar sus propiedades físico-químicas con el fin de permitir una mejor valorización de su poder calorífico. Algunos tratamientos producen resultados que se pueden usar para otros procesos diferentes al combustible. Estos procesos son muy similares y sólo dependen de las propiedades físicas del residuo inicial y de las propiedades físicas que el residuo de salida necesita tener para poder quemarse en una cámara de combustión. En el presente documento no se trata la combustión real del residuo, puesto que esto se encuentra en los BREF de cada sector (por ejemplo, incineración de residuos, cemento y cal, grandes instalaciones de combustión, hierro y acero, etc.).

Los residuos que tienen algún poder calorífico se usan actualmente como combustible en determinados procesos de combustión, como, por ejemplo, incineración de residuos, en los hornos de cemento o cal, grandes instalaciones de combustión, instalaciones térmicas, fábricas de productos químicos, calderas industriales, instalaciones de cerámica, producción de ladrillos, producción de hierro y acero, producción de metales no ferrosos, etc. Algunos de los sectores que usan residuos como combustible están directamente vinculados con la producción de dicho residuo. Esto implica que algunos residuos, producidos en procesos estables, y, por tanto, de cierta consistencia, pueden no necesitar otra preparación para su posterior uso en dicho sector y, así, a menudo se envían directamente a la instalación en donde se usarán (por ejemplo, aceites o disolventes usados). En estos casos, no se lleva a cabo ningún tratamiento en el residuo, por lo que esta actividad no se incluye en el ámbito de este documento (en la figur 2.18 se representan como flechas marrones). El tipo de flujos de residuos que son técnicamente apropiados para su uso en las instalaciones de co-incineración es un tema que se abordará en los BREF individuales de cada sector. Este documento considera y analiza los temas ambientales implicados en la manipulación y transformación de diferentes tipos de residuos en material adecuado para usarse como combustible en diferentes procesos, como se representa con las flechas azules en la figura 2.18.



Figura 2.18: Algunas posibilidades actuales para el uso de residuos como combustible en diferentes sectores

Nota: esta figura no pretende mostrar todas las posibilidades que pueden aparecer. Algunas opciones no se muestran en la figura para mejorar su legibilidad

Por citar algún caso, el uso de aceite usado como sustituto de combustible sin ningún tratamiento es una de las opciones que se usa en toda Europa, variando en popularidad en función de las economías locales y las circunstancias legislativas. La mayoría de normativas nacionales permiten la combustión del aceite usado en hornos de cemento. Los aceites usados se aceptan en condiciones especiales como combustible para hornos de cemento en Francia, Alemania, Italia, España y Reino Unido, estando prohibidos, por ejemplo en los Países Bajos. En otros países, sencillamente no se usan.

Las técnicas comunes empleadas en la producción de estos materiales para su uso como combustible se describen en el apartado 2.1.

2.5.1 Preparación de combustible residual sólido principalmente a partir de residuos sólidos

2.5.1.1 Preparación de combustible residual sólido mediante tratamiento mecánico (y biológico) a partir de residuos no peligrosos

Finalidad

La finalidad principal es preparar un material combustible de los residuos sólidos municipales (RSM). En el apartado 2.2.2 se mencionan otros fines. La principal función de la preparación de combustible es convertir los materiales seleccionados en un combustible específico. Este apartado también incluye la preparación de combustibles sólidos mediante combinación/mezcla. De un modo amplio, se pueden distinguir dos tipos de TMB:

- instalaciones de «separación», que lo que buscan es dividir los residuos en fracciones «biodegradables» (que se pueden secar y usarse como combustible) y fracciones «altamente caloríficas», y
- procesos de «estabilización en seco», que se ocupan menos de la división en fracciones y se dirigen más al uso del calor procedente del proceso de «compostaje» para secar el material

residual y aumentar el poder calorífico, haciéndolo, por tanto, más adecuado para su uso como combustible, así como mejorar la separación de las fracciones.

Principio de funcionamiento

Este tipo de combustible se fabrica clasificando los residuos principalmente para dejar un material combustible quitando las fracciones inertes putrescibles húmedas y pesadas (piedras, vidrio, chatarra, etc.) de los residuos. Otras operaciones que se usan son, por ejemplo, cribas, separadores, trituradoras, tamizado y escogido.

Las tecnologías de preparación de combustible sólido varían considerablemente dependiendo del origen y del tipo de residuo, así como de los requisitos de los usuarios de las instalaciones de los clientes o de la combustión.

Es muy importante tener en cuenta que los residuos son una mezcla heterogénea de materiales, especialmente los residuos sólidos municipales. Por tanto, en la producción de combustible, el productor creará un combustible más homogéneo utilizando la tecnología de preparación y los procesamientos de residuos específicos.

Flujos de alimentación y salida

Consulte el apartado 2.2.2. Esta actividad se usa comúnmente para el tratamiento de residuos no peligrosos. El combustible sólido puede surgir de fuentes muy diferentes, como de la utilización previa o posterior de residuos industriales, fracciones seleccionadas de residuos domésticos y comerciales y de las actividades de construcción y demolición. La entrada en el proceso, por tanto, puede ser bien un residuo industrial directo o un residuo mezclado (normalmente conforme aumenta el nivel de mezcla, aumenta también la necesidad de preparación de los residuos). Dependiendo del origen, la composición y la cantidad de contaminación del residuo de salida variará.

Los RSM, residuos «comerciales» y los residuos de construcciones y demoliciones son los orígenes más comunes. Los materiales más frecuentes que se encuentran son papel, plásticos, madera y productos textiles. Otro tipo de residuo que se usa normalmente es la fracción papel (papel + plástico + caucho) de los filtros de aceite. Este residuo contiene un gran poder calorífico.

Se pueden distinguir dos tipos principales de combustible: material triturado o de tipo pelusa y combustibles densificados, como pellets, cubos y briquetas. El combustible densificado de sólidos recuperados puede tener un poder calorífico inferior (PCI), es decir, hasta 30 MJ/Kg dependiendo de la composición. Los poderes caloríficos mínimos comunicados varían de 3 a 40 MJ/kg. Otros datos anotan que la entrada, que normalmente puede tener un poder calorífico inicial de aprox. 8,4 MJ/kg puede aumentar su poder calorífico a aprox. 17 MK/kg fundamentalmente separando las fracciones no combustibles (por ejemplo, materiales inorgánicos y agua).

Los residuos de plásticos se pueden sustituir por otros combustibles sólidos, como carbón, turba, madera, coque de petróleo, etc. En la actualidad existen varios proyectos de desarrollo que se están llevando a cabo con la sustitución del combustible, así como algunas instalaciones de demostración que están funcionando con residuos sólidos plásticos.

El tratamiento para producir combustible residual sólido divide los RSM en dos fracciones. El poder calorífico y la composición de estas fracciones son diferentes y también pueden diferir de los RSM tratados. La fracción que permanece después de la extracción de combustible residual sólido puede representar un elevado porcentaje del RSM tratado.

Descripción del proceso

Consulte el apartado 2.2.2. Dependiendo del origen y el uso, estos residuos se Trituran, separan, combinan y peletizan. Un ejemplo típico de una hoja de flujos sería: entrada (residuo), transporte mecánico (por ejemplo, cinta transportadora), separación (por ejemplo, cribas de

tambor, clasificadores de aire, escogido a mano, imanes, secadores), reducción de tamaño (por ejemplo, aplastado, triturado), aumento de tamaño (por ejemplo, formación de balas, peletización) y, finalmente, salida (combustible). Se conocen varios ejemplos que se aplican en este proceso: reducción/eliminación/cambio de contaminantes físicos y químicos. La figura 2.19 sólo muestra una de las características principales, la recogida automática. La espectroscopia en el infrarrojo próximo o la separación de metales también influyen en dichas propiedades, como, por ejemplo, los contenidos en metales pesados. La figura 2.19 presenta un resumen de algunas unidades de procesos comunes que se pueden aplicar para la producción de combustibles residuales sólidos. El número y la clase de pasos de procesamiento aplicados depende de la composición del residuo y de la calidad de producto final que se desee obtener.

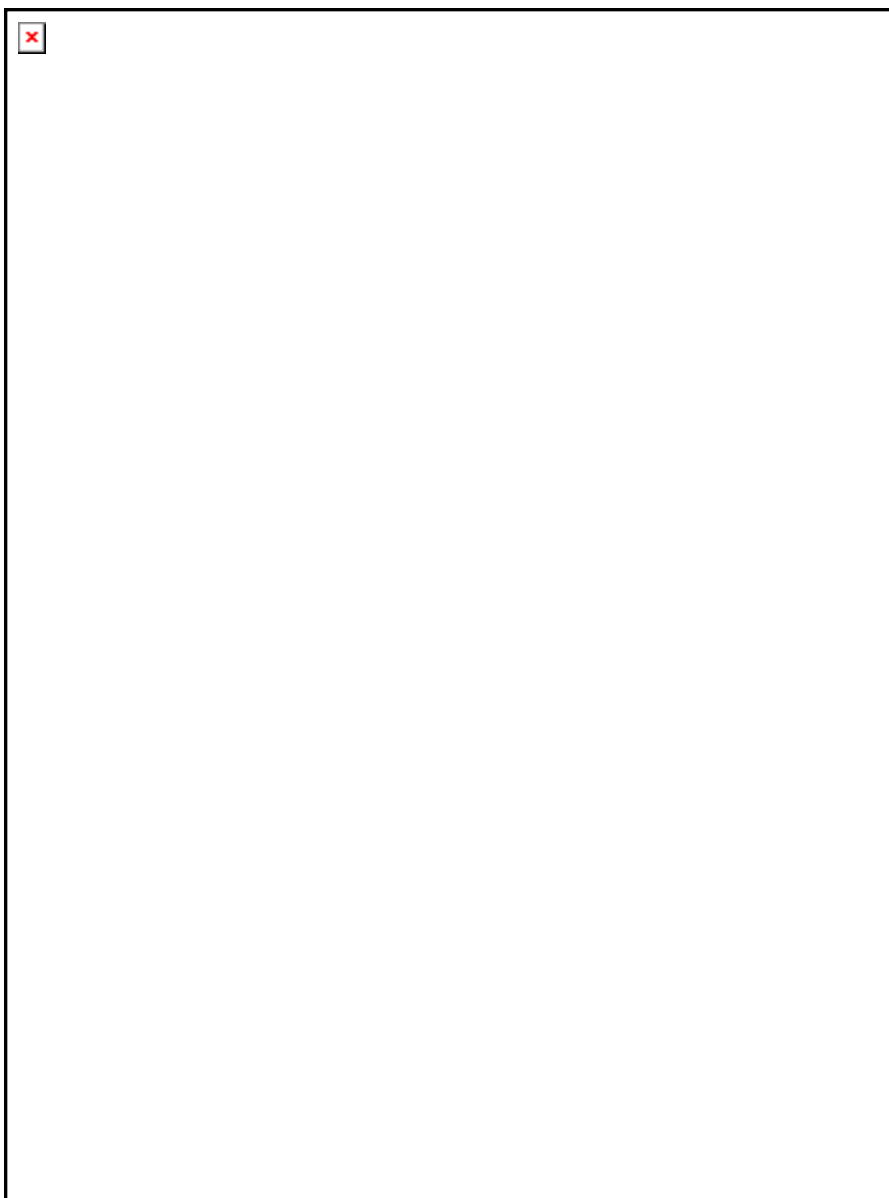


Figura 2.19: Esquema del proceso de producción de combustible residual sólido
[126, Pretz, et al., 2003]

La selección del origen puede ser la primera acción a tener en cuenta para los flujos únicos. La preselección se puede incorporar en el sistema de recogida de residuos comerciales mixtos. El área de recepción de residuos constituye la primera instalación importante de cara al sistema de gestión de la garantía de calidad y es donde se lleva a cabo la inspección de recepción. En esta primera etapa es necesario organizar toda clase de materiales inadecuados que puedan crear problemas operativos o de calidad.

La producción de combustible residual sólido se puede dividir en varios pasos, que se citan a continuación. No obstante, esta lista sólo presenta un resumen de posibles técnicas, no debiendo necesariamente todas ellas formar parte de cada proceso:

- área de recepción/depósitos;
- preclasificación/selección de contaminantes;
- equipo de alimentación: para la alimentación del proceso normalmente se utilizan cargadores de ruedas o grúas;
- reducción de tamaño: el desmenuzamiento se puede lograr con molinos de martillos, trituradoras de corte, trituradoras de eje único, cortadoras giratorias, cortadoras de árbol de levas y molinos de cascada;
- separación de metales: para separar, por ejemplo, metales ferrosos del residuo sólido, se pueden usar varias técnicas basadas en las diferentes propiedades del material. Las características más importantes del tratamiento de residuos son la densidad, forma, susceptibilidad magnética y conductividad eléctrica. El tipo de sistemas que más se usan en este sector son los separadores magnéticos (separadores magnéticos sobre banda, separadores magnéticos de tambor, poleas magnéticas) o separadores de corriente Eddy (para separar metales no ferrosos);
- clasificación: la clasificación se puede llevar a cabo mediante tamices de tambor, pantallas oscilantes lineales y circulares, pantallas basculantes, pantallas planas, pantallas volteadoras y rejillas móviles. Un paso muy importante del proceso dentro de la clasificación es el paso del tamizado antes y después de la trituración. Los tamices se aplican para lograr una división de masa y volumen por tamaño de partícula. Es evidente que en las mezclas de partículas de tamaño pequeño, el contenido de sustancias peligrosas se acumula en comparación con la cantidad encontrada en el sobreflujo del tamiz. En el procesamiento de tratamiento de los residuos se aplica una clasificación con cribas cuando:
 - es necesario someter los materiales de un proceso anterior a algún tipo de conversión para adaptarlos o otros pasos del procesamiento, es decir, separación en fracciones de tamaños definidos;
 - se requiere una separación de los tamaños de partículas gruesas y finas;
 - un material desmenuzado tiene un contenido alto de partículas del tamaño final y sólo es necesario reducir de nuevo el tamaño de las que todavía son demasiado grandes;
 - es necesario concentrar ciertos materiales. En este caso, el procesamiento se conoce como clasificación de ordenación. Esto también incluye la separación de las fracciones de tamaño pequeño que a menudo tienen un alto contenido en sustancias de metales pesados;
- clasificación por aire (por ejemplo, clasificadores de aire o aeroherdos);
- espectroscopia en el infrarrojo próximo;
- recogida automática;
- la compactación/peletización se puede llevar a cabo mediante prensas de lecho plano, prensas de estampado anular o aglomeradores de discos;
- almacenamiento/área de almacenamiento/tolvas;
- degradación biológica/desección térmica: si es necesario reducir el contenido de agua para aumentar el poder calorífico, se necesita un paso con un proceso de secado. Esto se puede aplicar como un paso para la desecación térmica o biológica. Puede ser necesario tener que desecar el residuo para lograr unos índices de ordenación/clasificación más altos;
- recogida y limpieza de los gases de salida;
- tratamiento de aguas residuales;
- carga y transporte.

Después del paso de procesamiento final, se obtiene un combustible residual sólido. En algunos casos, se pueden necesitar pasos de procesamiento adicionales para diseñar el combustible residual conforme a los deseos del cliente. Por ejemplo, es posible que se solicite más compactación o reducción del tamaño. La tabla 2.15 muestra la correlación entre los diferentes procesos de preparación del combustible y la aplicación final para los diferentes fines.

Combustible preparado en forma de	Procesos de cocombustión			
	Horno de cemento	Lecho fluidizado circulante	Central eléctrica de carbón pulverizado	Central eléctrica con gasificación y carbón pulverizado
Balas	Triturado (pelusa), almacenamiento cubierto	Triturado (pelusa), almacenamiento cubierto	Peletización, almacenamiento, pulverización	Triturado (pelusa), almacenamiento cubierto
Pellets blandos/pelusa	Almacenamiento cubierto	Almacenamiento cubierto	Almacenamiento cubierto	Almacenamiento cubierto
Pellets duros	Almacenamiento cubierto, triturado simple	Almacenamiento cubierto	Almacenamiento cubierto, pulverización	Almacenamiento cubierto
Virutas				
Polvo				

Tabla 2.15: Pasos de procesamiento adicionales requeridos de acuerdo con la forma física, para entregar el combustible residual según las especificaciones del consumidor [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

Una vez que se ha separado el material combustible, se tritura y bien se envía al cliente o se peletiza antes de enviarse para la combustión (normalmente esto ocurre cuando el material se quema externamente, puesto que el combustible densificado reduce los costes de transporte).

Usuarios

Normalmente el material combustible se incinera en instalaciones específicas o se coincide en instalaciones en las que se lleva a cabo el proceso de combustión. La principal aplicación del combustible está en la producción de los hornos de cemento y piedra caliza y la generación de energía. Dependiendo de la aplicación final, existen diferentes requisitos para los combustibles residuales.

Este tipo de instalación se puede encontrar en los Países Bajos, Italia, Alemania, Austria y Bélgica, y constituye una plantilla básica para algunas «instalaciones integradas» planificadas en el Reino Unido. La combinación de grandes volúmenes de residuos sólidos es una práctica común en varios estados de la UE (por ejemplo, Bélgica, Francia, Alemania, Dinamarca, etc.).

El procesamiento de combustible residual sólido no es un proceso estandarizado. La extensión del procesamiento llevado a cabo depende hasta cierto punto del tipo de residuo que se recibe (entrada) y de la aplicación real del combustible residual sólido.

En el tratamiento mecánico-biológico, el proceso usado en la producción de combustible residual sólido es un tipo de instalación mecánica anterior debido a que los residuos con alto poder calorífico se separan antes del resto de material que se alimenta en el paso de degradación biológica para bajar su contenido orgánico. En algunos casos, el paso de degradación biológica es parte de la producción del combustible residual sólido, centrándose principalmente en reducir el contenido en agua. En otros, el paso de degradación biológica también se organiza en la producción del combustible residual sólido, pero el objetivo principal puede ser reducir el contenido en materia orgánica para mantener los oportunos criterios de eliminación de cualquier material que no sea parte del combustible residual y que sea necesario eliminar. Dependiendo del proceso aplicado, se pueden aplicar diferentes normativas sobre emisiones.

En algunos casos, se seca todo el residuo mediante procesos físicos y biológicos durante varios días (por ejemplo, en Alemania son 7 días) con altos índices de aireación en un biorreactor cerrado. Dentro de este proceso, el contenido orgánico se reduce sólo ligeramente, mientras que el comportamiento de la separación mejora de modo significativo. A continuación viene la separación en fracciones pesadas y ligeras. La fracción ligera se usa como CDR después de la posterior separación de los metales. La fracción pesada (aproximadamente el 15 %) se separa en metales, vidrio, baterías y componentes minerales para su reutilización.

2.5.1.2 Preparación de combustible residual sólido principalmente a partir de residuos peligrosos líquidos y semilíquidos

Finalidad

La finalidad de la preparación de esta clase de combustible es crear un combustible residual hecho a la medida, homogéneo y fluido que se pueda usar en los procesos de combustión. Esto también hace que sea más fácil de comerciar y utilizar.

Principio de funcionamiento

La preparación mecánica del combustible residual sólido incluye, por ejemplo, la impregnación del residuo en un soporte (por ejemplo, serrín, papel o cartón prensado, adsorbentes, etc.).

Flujos de alimentación y salida

Los tipos utilizados son residuos pastosos, en polvo y sólidos, principalmente peligrosos. En algunos casos específicos, se pueden usar algunos residuos líquidos.

Descripción del proceso

En la figura 2.20 se presenta un proceso de ejemplo de una distribución para la producción de combustible residual sólido. El diseño de la distribución, así como la instalación seleccionada, se ha escogido de acuerdo con el tipo de residuo, la disponibilidad de éste y la especificación final del combustible residual.



Figura 2.20: Ejemplo de la producción de combustible sólido a partir de residuos peligrosos líquidos o semilíquidos.
[122, Eucopro, 2003]

Los principales procesos y pasos de producción son:

- alimentación del residuo desde el lugar de almacenamiento a las unidades de producción. La prehomogeneización de los residuos entrantes se basa en las características físico-químicas. Este paso resulta crítico para asegurar el cumplimiento del combustible residual con las especificaciones de los usuarios finales;
- triturado o criba de las partículas gruesas. Es necesario triturar o cribar los residuos que contienen partículas grandes antes de su introducción en la unidad de mezclado;
- alimentación de la unidad de mezclado;
- operaciones de mezcla. Los materiales se pueden alimentar directamente o a través de una tolva con el fin de estabilizar, regular y controlar la cantidad de residuo introducido en la unidad de mezclado. Después de la operación de mezclado se usa una cinta transportadora para transportar el material a la criba;
- extracción de chatarra con separadores magnéticos o sistemas de corriente Foucault (Eddy) para extraer los metales no ferrosos;
- operaciones de cribado con cribas giratorias o vibratorias. Las dimensiones, así como el diseño de la malla de la criba, dependen de las especificaciones de granulometría y de los combustibles residuales al margen de la especificación (en algunas instalaciones se pueden tener diferentes fracciones, dependiendo de las posibilidades de reutilización de las partículas grandes). Las fracciones fuera de la especificación se pueden reprocesar en la producción, tratarse en una trituradora específica o destinarse para incineración o unidades de coprocesamiento específicas;
- almacenamiento del combustible residual antes de la carga;
- envío del combustible residual. La carga de los camiones (o trenes o barcos) se lleva a cabo mediante grúas, cintas transportadoras o bulldozers;
- aplastamiento y separación criogénicos del embalaje usado de pinturas, tinta y sustancias similares.

Usuarios

Instalaciones de co-incineración (por ejemplo, hornos de cemento).

2.5.1.3 Preparación de combustible residual sólido por carbonización de madera contaminada

Finalidad

La carbonización de madera contaminada se lleva a cabo con el fin de obtener carbón vegetal para su uso como combustible.

Principio de funcionamiento

Carbonización de madera a una temperatura relativamente baja (300 – 400 °C).

Flujos de alimentación y salida

La madera contaminada se convierte en carbón que se puede usar como combustible. Los metales se recuperan y valorizan en los talleres metalúrgicos.

Descripción del proceso

El proceso se divide en tres tipos de operaciones:

- a) corte de la madera con el fin de obtener un material con una granulometría y composición homogéneas;
- b) carbonización de los restos de madera para obtener un carbón vegetal que concentre todos los metales. La carbonización se lleva a cabo a temperaturas entre 300 y 400 °C en una atmósfera baja en oxidantes. De esta forma, los compuestos orgánicos se gasifican y los metales pesados se concentran en el residuo carbonoso. Este residuo se extrae entonces del horno y el gas se trata a 850 °C durante dos segundos;

- c) extracción de metales pesados. Esto es un paso esencial para obtener carbón puro (con un poder calorífico de 27.000 kJ/kg). Se realiza un triturado fino con objeto de separar los cristales de metal de la estructura del carbón. Los metales (3 peso-%) se separan por centrifugación y el carbón se aspira desde el centro a través de un filtro de mangas. Los metales se recuperan en procesos metalúrgicos.

Usuarios

Una instalación en Francia.

2.5.2 Preparación de combustibles residuales líquidos

En este apartado se incluyen los tratamientos llevados a cabo para preparar combustibles líquidos a partir de materiales líquidos o semilíquidos. El combustible residual líquido producido tiene propiedades que le permiten convertirse en líquido y moverse cuando se aplica una diferencia de presión o gravedad. Algunos materiales producidos pueden ser muy viscosos y muy difíciles y caros de bombear, aunque todavía mantengan las propiedades de los líquidos. El residuo de salida de estos tratamientos se conoce en este apartado como «combustible residual líquido», independientemente de si el combustible es semilíquido o líquido. Los procesos que comienzan a partir de residuos líquidos o semilíquidos y terminan como combustible residual sólido se incluyen en el apartado 2.5.1.2.

Normalmente los materiales preparados por estos tipos de tratamientos son residuos peligrosos. Se pueden preparar varios combustibles residuales líquidos de acuerdo con los diferentes residuos y los requisitos del mercado:

- preparación líquida orgánica por combinación,
- fluidificación,
- emulsiones,
- lodos (la preparación de estos tipos de residuos se considera una técnica emergente).

Los principales procesos usados en la preparación de residuos que serán utilizados como combustible son:

- conocimiento, controles, seguimiento y trazabilidad de los residuos (técnica común como se describe en el apartado 2.1),
- transporte de los residuos (técnica común como se describe en el apartado 2.1),
- recepción de los residuos (técnica común como se describe en el apartado 2.1),
- descarga de los residuos (técnica común como se describe en el apartado 2.1),
- unidades de almacenamiento empleadas antes del tratamiento,
- reacondicionamiento,
- homogeneización y combinación,
- triturado,
- criba,
- fluidificación,
- separación por fases para los residuos líquidos: asentamiento, centrifugación, extracción...
- secado,
- lavado.

2.5.2.1 Preparación de los combustibles residuales líquidos mediante la combinación principalmente de residuos peligrosos

Finalidad

La finalidad de esta operación es combinar y homogeneizar residuos compatibles procedentes de diferentes productores y orígenes. El fin es:

- proporcionar un servicio cercano a los productores con sólo pequeñas cantidades de residuos líquidos orgánicos;
- racionalizar la organización de la logística (transportes, etc.);
- desarrollar una solución adaptada para empaquetar residuos con varias fases (líquidos/pastosos o sólidos);
- separar las diferentes fases (agua, líquido orgánico, lodos o sólido) de un residuo compuesto con el fin de optimizar la valorización;
- preparar los residuos homogéneos y estables de acuerdo con especificaciones.

Principio de funcionamiento

Estas operaciones pueden implicar el agrupamiento de pequeñas cantidades o actividades de pretratamiento como la separación por fases o el asentamiento. La combinación y homogeneización son las operaciones principales.

Flujos de alimentación y salida

Residuos líquidos y semilíquidos con un alto contenido orgánico. Los residuos utilizados incluyen disolventes, aceites, lodos de aceites, emulsiones, residuos de destilación, lodos del fondo de depósitos, emulsiones de aceite procedentes de las industrias mecánicas y metalúrgicas, residuos y lodos que contengan aceite del refinado de petróleo y de la recogida y almacenamiento de materiales con aceite, residuos procedentes de la destilación de aceite y la regeneración de fallos de la producción; residuos pastosos como grasa, tinta y restos de adhesivos; residuos pulverulentos como polvo de pinturas, residuos de detergentes, etc.

Descripción del proceso

En la figura 2.21 se presenta un ejemplo de la distribución de un proceso para la preparación de combustible líquido.



Figura 2.21: Ejemplo de la distribución de un proceso para la preparación de combustible residual líquido

[122, Eucopro, 2003], [150, GTT, 2004]

Nota: el «proceso de combustible líquido» utiliza residuos pastosos para producir otros combustibles líquidos

Los principales procesos y pasos de producción son:

Descarga y agrupamiento

- residuos líquidos a granel. Después de la filtración y el asentamiento, los líquidos orgánicos se envían con una bomba centrífuga o de membranas a recipientes metálicos cilíndricos equipados con un dispositivo de mezclado con el fin de evitar el asentamiento o la separación por fases (que consiste en un mezclador pendular o sistema de bombeo que mezcla la parte superior y la inferior del depósito mediante una circulación continua);
- residuos empaquetados (tambores, etc.). Antes del agrupamiento, los paquetes se vacían con técnicas adaptadas a sus características físico-químicas. Generalmente hay dos fases: una líquida y una pastosa (y a veces sólida) en el fondo del tambor.

Preparación

Este paso consta de operaciones como asentamiento, trituración, filtración y combinación. Para mantener homogéneos los residuos se usa un agitador o un sistema de recirculación. A veces se usa un sistema de trituración con una técnica de recirculación con el fin de disminuir la granulometría de las partículas sólidas que se puedan encontrar en el residuo líquido.

Envío

Antes de la carga, la preparación del líquido se filtra a través de un filtro de 3 mm. La carga de los camiones se lleva a cabo con todos los sistemas de seguridad necesarios.

Usuarios

Instalaciones de coincineración (por ejemplo, hornos de cemento).

2.5.2.2 Preparación de combustibles residuales líquidos por fluidificación de residuos peligrosos

Finalidad

La finalidad de esta operación es combinar y homogeneizar residuos compatibles procedentes de diferentes productores y orígenes.

Principio de funcionamiento

La fluidificación implica procesos en los que se homogeneizan residuos líquidos, pastosos y sólidos y se trituran juntos con el fin de producir un combustible líquido que se pueda usar como tal.

Flujos de alimentación y salida

Normalmente residuos peligrosos como residuos de aceite, disolventes usados, residuos procedentes de síntesis química orgánica, aceites y grasas, etc.

Descripción del proceso



Figura 2.22: Ejemplo de la distribución de un proceso para la producción de combustible residual líquido por fluidificación
[122, Eucopro, 2003]

Los principales procesos y pasos de producción son:

Prehomogeneización

La prehomogeneización de los residuos entrantes se basa en las características físico-químicas. Consiste en la producción de una premezcla con características físicas aceptables para el proceso de fluidificación. Este paso previene diferentes tipos de problemas que pueden surgir en el proceso, como atascos en las tolvas, tuberías o la maquinaria.

Alimentación de los residuos desde las instalaciones de almacenamiento anterior hasta el proceso de fluidificación

Los residuos sólidos se manipulan con una pala mecánica, brazo hidráulico, puente-grúa o cargador hidráulico. Se transfieren al proceso de fluidificación con un transportador helicoidal o un transportador Redler. Los lodos se manipulan con palas hidráulicas, puentes-grúa o bombas de pistón hidráulico capaces de manipular materiales con un alto grado de viscosidad. Los residuos líquidos se manipulan con bombas. Las tecnologías de bombeo deben poder aceptar fluctuaciones en la calidad y la presencia de partículas en suspensión.

Proceso de fluidificación

Éste se compone de cuatro pasos principales:

«Calibración» de la fracción pastosa

Este paso consiste en triturar las partículas gruesas, extraer cualquier parte metálica extraña combinada accidentalmente con los residuos químicos y después transferir este material pastoso al depósito de mezclado. Las trituradoras que se usan son las de movimiento lento que se emplean para residuos inflamables y con un punto de inflamabilidad bajo (por ejemplo, cizallas giratorias monorrotor o birrotor) y trituradoras especializadas para residuos específicos (por ejemplo, trituradoras criogénicas). Las tecnologías para la extracción de fracciones sólidas no deseadas incluyen separadores de metales ferrosos y no ferrosos y cribas vibradoras, así como rejillas estáticas para partículas más grandes. La transferencia del material se lleva a cabo mediante transportadores helicoidales y bombas (por ejemplo, bombas de hormigón).

Para inversiones más bajas, también se puede disponer de un diseño simplificado consistente en una unidad con una capacidad más pequeña que se destinará a residuos menos difíciles (es

decir, que no tengan trozos gruesos). En este caso, el material se puede transferir al paso de mezclado mediante la trituración. Se puede instalar un filtro giratorio para eliminar grandes cantidades de materiales inútiles.

Disolución y tamizado

Este segundo paso disuelve y emulsiona las fracciones pastosas en una fase disolvente para obtener un material homogéneo.

La disolución de los componentes orgánicos sólidos en una fase líquida compuesta de disolventes y agua residual se lleva a cabo por medio de mezcladores especiales, tamices giratorios y depósitos intermedios. Los mezcladores deben responder a las limitaciones del material pegajoso que contenga sólidos duros y voluminosos en suspensión. Pulverizarán los sólidos entre el rotor y el estátor y los mezclarán en la fase líquida. A continuación, la mezcla líquida se introducirá dentro de un tamiz giratorio que extraerá los trozos de revestimiento de plástico fragmentados por el triturado llevado a cabo en el paso anterior. El depósito intermedio recogerá el material en el curso de la preparación al final de este paso.

Triturado y emulsionado

Este tercer paso consiste en triturar finamente cualquier partícula sólida que quede en suspensión en la fase líquida. También consiste en crear una emulsión fina entre la fase acuosa y la fase de hidrocarburos que constituye el combustible residual líquido. La estabilidad y la calidad de la combustión del combustible residual dependen directamente tanto de su homogeneidad como del tamaño de la fragmentación de los sólidos en suspensión.

Estos criterios requieren tecnologías de triturado y emulsionado de alta velocidad con protección mediante separadores magnéticos y filtros mecánicos. El equipo debe ser lo suficientemente flexible para poder aceptar fluctuaciones en la viscosidad, densidad y naturaleza de los sólidos en suspensión.

En este paso, durante el llenado del depósito intermedio, se controla el combustible residual líquido. Algunos parámetros como el pH y la viscosidad se pueden controlar de forma continua durante el proceso. Otros parámetros como el PCI, la composición y el punto de inflamabilidad, se controlan a partir de muestras tomadas durante la producción. Si la calidad no cumple con la especificación, el combustible debe volver a procesarse antes de transferirse a la unidad de almacenamiento.

Para las unidades con capacidad pequeña, se puede disponer de un diseño más simple: aquí los pasos 2 y 3 se pueden llevar a cabo al mismo tiempo. En este caso, el depósito de mezcla y el intermedio serán el mismo y la línea de trituración se realizará en el depósito de mezclado.

Almacenamiento y envío

Una vez que se alcanza un nivel alto dentro del depósito intermedio, el material se puede transferir mediante bombeo al almacenamiento final. Durante esta transferencia, se puede llevar a cabo el último ajuste de la calidad del combustible por medio de trituradoras y filtros que funcionan en la línea de transferencia. Las instalaciones de almacenamiento se componen normalmente de depósitos cilíndricos verticales con equipo de mezcla. Hay dos tecnologías de mezclado que resultan apropiadas para homogeneizar el combustible líquido:

- un mezclador marino largo instalado en el techo del depósito,
- un sistema de bombeo que combina la parte superior y la inferior del depósito mediante la circulación en bucle.

El envío al cliente se lleva a cabo mediante una estación de carga de camiones. La alimentación de esta estación se realiza por medio de la unidad de almacenamiento mencionada antes.

Usuarios

Instalaciones de coincineración (por ejemplo, hornos de cemento).

2.5.2.3 Preparación de emulsiones a partir de residuos peligrosos líquidos y semilíquidos

Finalidad

El objetivo es producir un combustible residual homogéneo y estable a partir de residuos líquidos y semilíquidos.

Principio de funcionamiento

Este proceso se basa en el control de la combinación por medio de la adición de agentes químicos o tensoactivos seleccionados.

Flujos de alimentación y salida

Las emulsiones se producen normalmente con residuos peligrosos como aceites y emulsiones procedentes de las industrias mecánicas y metalúrgicas, residuos y lodos que contienen aceite del refinado de petróleo, fallos de producción, etc.

Descripción del proceso

Las instalaciones son similares en diseño y distribución a las que se usan para la preparación de materias primas pastosas para la producción de escoria en hornos de cemento.

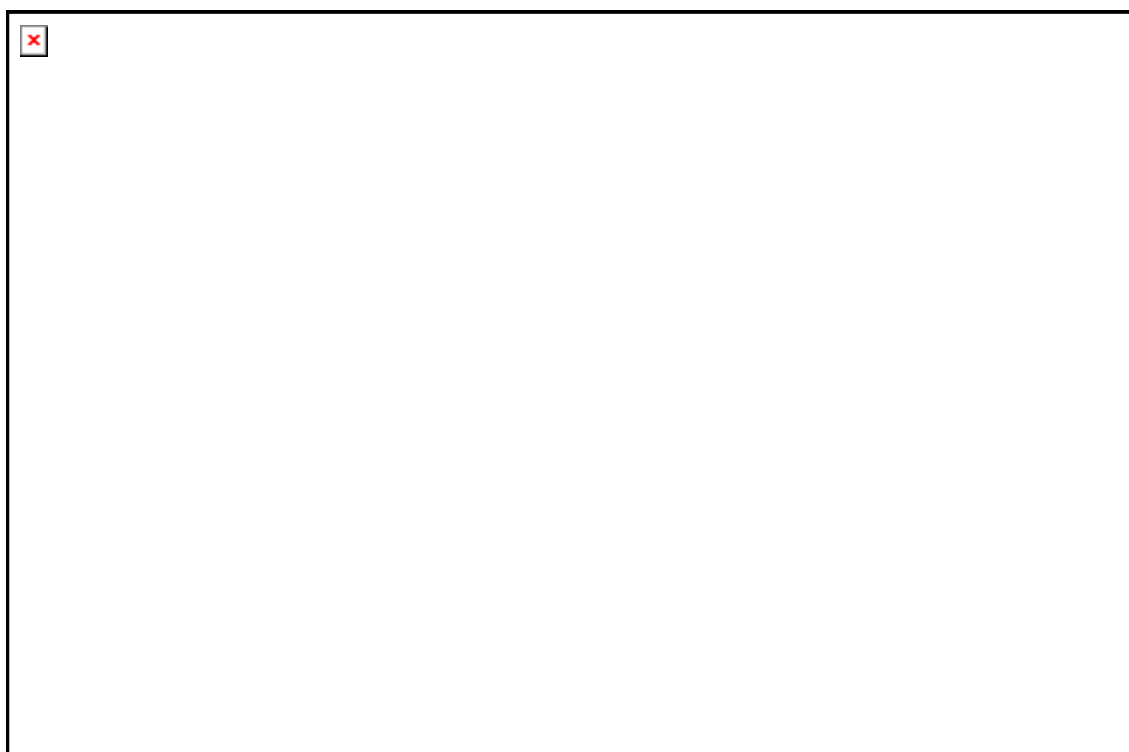


Figura 2.23: Ejemplo de la organización del proceso para la preparación de emulsiones [122, Eucopro, 2003], [150, GTT, 2004]

Los principales procesos y pasos de producción son:

Alimentación del residuo desde el lugar de almacenamiento a las unidades de producción

Antes de la introducción en el proceso de producción, los residuos se acondicionan con equipos adaptados a sus características físicas. Los residuos pastosos se extraen de tambores y se colocan en fosos especiales. Primero se manipulan mediante una pala mecánica para la homogeneización del foso. Después se transfieren a una tolva con el fin de introducirlos en el proceso de producción mediante un transportador helicoidal o una bomba de hormigón. Los residuos pulverulentos, como pintura y detergentes, se reciben en bolsas grandes. Se colocan directamente en el proceso de producción con un equipo adaptado para capturar las emisiones de polvo. Los residuos líquidos se manipulan con bomba. Las tecnologías de bombeo (bomba

centrífuga, bomba volumétrica con rotor exterior, etc.) deben ser capaces de aceptar fluctuaciones de viscosidad y la presencia de partículas en suspensión.

Formulación

De acuerdo con las características físico-químicas del residuo almacenado, el laboratorio define las especificaciones, incluyendo la naturaleza y cantidades de residuos que se pueden introducir en los procesos de producción. También se desarrollan pruebas de compatibilidad. Dichas pruebas se llevan a cabo en cualquier operación con el fin de cumplir con las especificaciones del combustible residual.

Proceso de producción

El proceso de producción, que es un proceso por lotes, se lleva a cabo mediante mezcladores especiales (llamados «retardadores») cerrados con objeto de impedir las emisiones de COV. Los diferentes componentes se introducen en el mezclador de acuerdo con las especificaciones del laboratorio. Un agitador hace que la producción de la emulsión sea estable. Durante este paso se controlan varios parámetros, como la viscosidad, pH, temperatura y especificación de motores. Uno de los fines de este control es detectar cualquier reacción de polimerización, ya que pueden ocasionar problemas en la producción.

Tamizado

Una vez que se ha logrado la emulsión, se hace circular de nuevo con una bomba centrífuga hasta el mezclador y a través de un tamiz curvado que retiene partículas que superen los 4 mm.

Extracción de arena

Cuando se vacía el mezclador y antes de enviarlo a las instalaciones de almacenamiento, el material se bombea en un foso de hormigón con una zona de sedimentación. El objetivo es separar las partículas de sólidos minerales (por ejemplo, arena) que pueda haber en el material por medio de la densidad.

Almacenamiento y envío

El material se transfiere con bomba centrífuga al lugar de almacenamiento. Las instalaciones de almacenamiento se componen generalmente de depósitos cilíndricos verticales de hormigón o acero con equipo de mezcla.

Para mantener la homogeneidad hay tres tecnologías de combinación apropiadas:

- un agitador sumergido,
- una agitador bajo con una rasqueta para evitar la sedimentación,
- un sistema de bombeo que combina la parte superior y la inferior del depósito mediante la circulación en bucle con un flujo fuerte (alrededor de 250 m³/h).

La calidad del combustible residual se controla con el fin de asegurarse de que sus características cumplen con las especificaciones del cliente. En algunos casos específicos, se pueden agregar residuos con un alto poder calorífico si se considera que hay un valor demasiado bajo.

El envío a las instalaciones de coprocesamiento se lleva a cabo mediante una estación de carga de camiones. Mientras se realiza la carga se lleva a cabo un tamizado final (a través de un filtro de 3 mm de tamaño).

Usuarios

Instalaciones de coincineración (por ejemplo, hornos de cemento).

2.5.2.4 Tratamientos de aceite usado en los que los residuos de salida se usan básicamente como combustible

Existen dos opciones principales para el tratamiento de aceites usados (consulte la figura 2.13 en el apartado 2.4.1). Una forma de tratar el aceite usado es reconvertirlo en un material que se pueda usar como aceite base para producir lubricantes. En este documento, esta operación se conoce como «rerrefinado» y se incluye en el apartado 2.4.1. La otra forma es el tratamiento del aceite usado para producir un material que se usará principalmente como combustible o para otros usos (por ejemplo, absorbente, aceite para desmoldeo, aceite de flotación, etc.). Estos tratamientos se encuentran en este apartado. Esta clasificación se ha adoptado para todo el documento, aunque no está concebida para tratar de definir ninguno de los códigos R de la legislación sobre residuos de la CE.

Se puede utilizar el poder calorífico de los aceites usados. Si se usa como combustible sustituto, principalmente para carbón, diésel y fuelóleo ligero, el aceite usado de lubricante tiene un valor económico. Existen diferentes aplicaciones de combustión para el aceite usado de lubricante, distinguibles en parte por la temperatura a la que queman y en parte por la tecnología de control que usan para reducir los efectos ambientales. Antes de su uso como combustible, es posible que sea necesario aplicar varios tratamientos de limpieza o transformación. Éstos se resumen en la tabla 2.16.

Tipo de tratamiento	Cambios que se producen en los aceites usados después del tratamiento	Uso del combustible	Sector industrial que lo usa
Sin tratamiento. Se usa directamente en un proceso de combustión (No se incluye en este documento)	No hay cambios	Se usa directamente como combustible en hornos, hogares, etc.	Incineradoras de residuos, hornos de cemento, calentadores para espacios grandes (garajes, invernaderos, talleres, etc.) ¹ , barcos (normalmente que usan aceites de barcos), canteras.
Reprocesamiento suave	Eliminación de agua y sedimentos	Mezcla de combustible residual para fuelóleo (sustitución del fuelóleo)	Hornos de cemento, instalaciones de balasto, grandes motores navales, centrales eléctricas de materias pulverizadas
Reprocesamiento a fondo (procesos químicos o térmicos)	Fuelóleo pesado desmetalizado (o destilado pesado)	Mezcla de combustible residual para fuelóleo (sustitución del fuelóleo)	Aceite diésel de barcos, combustible para instalaciones térmicas
Desintegración térmica	Material desmetalizado y desintegrado	Gasóleo destilado	Gasóleo (también conocido como aceite de calefacción, aceite diésel, aceite para hornos, etc.), fuelóleo pesado desmetalizado, gasóleo naval, Aceite base ligero rerrefinado no usado como combustible
Hidrogenación	Reducción de contenidos de azufre y HAP		
Gasificación ²	Convertido en gas sintético (H ₂ + CO)	Gas combustible	Producción química de metanol Grandes instalaciones de combustión (por ejemplo, turbinas de gas)

¹ Prohibido en algunos Estados miembros

² Más información en el apartado 2.5.3

Tabla 2.16: Tratamientos aplicados a los aceites usados antes de su uso como combustible

[5, Concawe, 1996], [7, Monier y Labouze, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

2.5.2.4.1 Combustión directa de aceites usados

La combustión de aceites usados sin ningún tratamiento es una opción de eliminación o tratamiento que se usa en toda Europa, variando en popularidad en función de las circunstancias económicas y legislativas locales. Hay cuatro sectores identificados en los que los aceites usados se queman directamente: hornos de cemento (consulte el BREF de cemento y cal); incineradoras de residuos (BREF de incineración de residuos); como agente reductor o combustible en altos hornos (BREF de la producción de hierro y acero) y en grandes instalaciones de combustión (BREF de grandes instalaciones de combustión). Como ya se encuentran cubiertos en otros BREF, no se incluirán en el ámbito de este documento.

2.5.2.4.2 Reprocesamiento suave de aceites usados

Finalidad

Limpiar los aceites usados para mejorar las propiedades físicas y que los puedan usar como combustible una mayor variedad de usuarios finales.

Principio de funcionamiento

Los tratamientos implican el asentamiento de sólidos y agua, desmineralización química, centrifugación y filtración con membranas.

Flujos de alimentación y salida

Aceites usados en general. Se les aplica un simple proceso de limpieza destinado al secado de asfaltos o para la combinación del combustible antes de su uso posterior.

Descripción del proceso

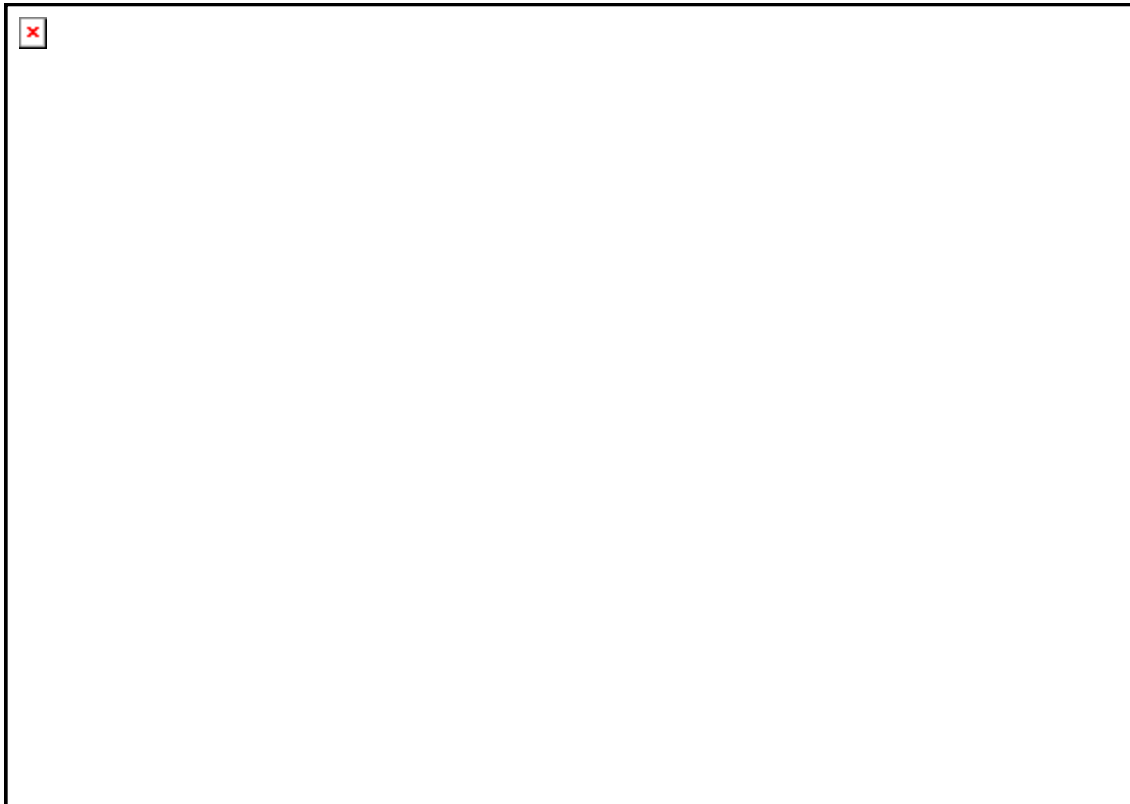


Figura 2.24: Ejemplo de un reprocesamiento suave de aceite usado
[55, UK EA, 2001]

Asentamiento

El agua y los sedimentos se asientan en el depósito después de mezclar el aceite con un demulsificador. El asentamiento se facilita calentando el depósito hasta 70/80 °C. Si es necesario, el aceite claro se decanta y se pasa a través de una serie de filtros. El agua residual y los sedimentos se tratan. Antes del uso posterior del aceite usado como sustituto de fuelóleo, se aplica un sencillo proceso de limpieza para eliminar el agua y los sedimentos (aunque normalmente esto no afecta a los metales pesados, sustancias halógenas y el azufre).

Desmineralización química

Este proceso se utiliza para limpiar contaminantes metálicos y aditivos. El proceso químico reside en la precipitación de sales como fosfatos, oxalatos y sulfatos. El combustible residual es apropiado para la combustión como «aceite negro» y produce menos contaminantes en el aire debido a su pretratamiento. Normalmente el agua se elimina mediante demulsificación y calor. El precipitado se elimina por asentamiento y filtración. Lamentablemente, las sustancias químicas y la instalación son bastante caras si las comparamos con el valor añadido del combustible residual producido. También se genera un residuo peligroso concentrado.

Filtración con membranas

Produce un aceite reciclado de alto grado, un aceite usado concentrado y agua residual.

Usuarios

El aceite usado de lubricante ha sido un sustituto del gasóleo ligero durante varios años. Ofrece una reducción de los costes operativos y es una vía útil de eliminación del aceite usado de lubricante. Los detalles sobre el alcance de esta vía en Europa no son claros, pero es probable que el fuelóleo combinado pueda venderse como combustible para calderas, para su uso en instalaciones de asfalto y en instalaciones de generación de energía. El material, después de la filtración con membranas, resulta adecuado como combustible de encendido en centrales eléctricas o como complemento del diésel.

El aceite usado concentrado, después de la filtración con membranas, se puede usar como rociado para el carbón, con el que los contaminantes se unen a los componentes de sílice en el quemado. En la tabla 2.17 se resumen algunos de los usos del aceite usado después de un reprocesamiento suave.

Sector en que se usan aceites usados tratados	Comentarios	Países en que se usa
Instalaciones de balasto o instalaciones de mezcla de asfaltos	Los aceites usados reprocesados se queman para secar la piedra para la fabricación de materiales de revestimiento de carreteras. Las piedras se secan, después se les da el tamaño y finalmente se mezclan con alquitrán y relleno	Común en Bélgica y el Reino Unido. Sin embargo, en Italia algunas autoridades ambientales no permiten este uso
Piedra caliza seca	Los aceites usados reprocesados se queman para secar piedra caliza. Es probable que el material sólido capture algunos contaminantes ácidos	
Combinación con fuelóleo	El aceite procesado se puede combinar con fuelóleo. En este caso, la cantidad máxima de aceite usado de lubricante procesado que se puede combinar con otros flujos pesados está limitada por las especificaciones sobre el contenido en cenizas (generalmente máx. alrededor del 0,1 %) y el contenido en azufre. Asimismo puede estar sujeta a tener que cumplir con la especificación de viscosidad	
Centrales eléctricas	El aceite usado reprocesado se utiliza en las centrales eléctricas de carbón pulverizado principalmente como combustible de arranque del horno, pero también se usa a veces como añadido en el combustible principal cuando está restringida la entrada de calor. Consulte el BREF sobre GIC [64, EIPPCB, 2003]	
Combustión de aceite usado de lubricante en calentadores para espacios grandes	Después de un paso de pretratamiento aparte en el que se eliminan el agua y los sedimentos, el aceite usado limpiado (consulte el apartado 2.4.1.1) se quema en pequeños calentadores de espacios grandes de garajes, talleres e invernaderos. Existen calentadores independientes especiales que se fabrican con esta finalidad. En este tipo de quemador, normalmente los gases de escape no se depuran y es probable que se produzcan emisiones en el aire de sustancias perjudiciales y contaminantes. Por lo general, esta vía se lleva a cabo a pequeña escala (normalmente <10 MW _{th}). Este uso ofrece una fuente de calefacción económica, eliminándose el aceite usado de lubricante en el punto de generación	Este tipo de combustión parece representar aproximadamente 40 kt de aceite usado de lubricante por año en el Reino Unido. En Bélgica y Dinamarca no es legal en la mayoría de casos usarlo en garajes, talleres e invernaderos (es necesario disponer de un permiso para eliminarlo como residuo peligroso)
Barcos	Normalmente esto implica aceites de barco usados. El aceite usado originado por la navegación y otras fuentes de tierra se mezcla con el fin de obtener unos mejores parámetros de tratamiento y separación. El aceite se usa como combustible residual acabado o como <i>cutter stock</i> , lo que quiere decir que se combinan diferentes flujos con el fin de cumplir con la especificación de viscosidad. El fuelóleo combinado se vende como combustible para calderas. Para la eliminación del agua, el aceite usado se decanta; si es necesario, la separación se puede mejorar agregando rompedores de emulsión o elevando la temperatura. Después el aceite se filtra y centrifuga. El aceite resultante se conduce al depósito de almacenamiento y se muestrea. Algunos aceites usados limpiados se usan actualmente en motores de barcos para la producción de electricidad	En España hay algunos ejemplos

Tabla 2.17: Uso de aceite usado con reprocesamiento suave como combustible [55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003]

2.5.2.4.3 Reprocesamiento a fondo

Finalidad

La combustión después de un reprocesamiento «a fondo» tiene como objetivo separar la fracción de aceite usado combustible de las fracciones del fondo menos deseables que contienen los metales, cenizas incombustibles, grava y suciedad. El reprocesamiento «a fondo» transforma los aceites usados de lubricantes en combustibles que se pueden quemar en condiciones similares a las de aquellos que queman otros fuelóleos.

Principio de funcionamiento

Uso de columna de evaporación y columnas de destilación (vacío) para producir un combustible residual más limpio apropiado para usarse como combustible. Existen varios procesos comerciales (consulte la descripción del proceso más adelante).

Flujos de alimentación y salida

El aceite usado desmetalizado producido (también conocido como destilado pesado o fuelóleo pesado) se quema como aceite diésel de barco o como combustible para centrales térmicas.

Residuos de salida del proceso «Trailblazer» (consulte la descripción del proceso más adelante)

- hidrocarburos ligeros formados por gasolina, queroseno, etc.;
- destilados en vacío. Comprenden hidrocarburos sin cenizas en la gama diésel y cumplen con la especificación de fuelóleo para una gran variedad de aplicaciones, incluyendo el uso como combustible diésel para barcos;
- diluyente para asfalto. Este material son los fondos residuales de la torre de vacío. El metal, aditivos y los compuestos de degradación se encuentran contenidos en el diluyente para asfalto. El metal encapsulado en el material asfáltico acabado muestra menos lixivialidad en diversas pruebas.

Residuos de salida del proceso de desasfaltado con propano (consulte la descripción más adelante)

El aceite base producido sólo es adecuado como diluyente de diésel ya que produce una materia base lubricante sin acabar que no es comerciable. Los «fondos» producidos resultan válidos como alquitrán. Este proceso genera más materiales comerciables que la regeneración por tratamiento químico o por hidrogenación. Ésta es la razón por la que a veces, en determinadas condiciones operativas, este proceso se puede ver como un proceso de rerrefinado debido al alto porcentaje de aceites base que se producen. Se puede encontrar más información en la tabla 2.12.

Descripción del proceso

Existen algunos tratamientos químicos (ácido/arcilla, extracción con disolventes, extracción con propano, etc., sin un paso final) como los tratamientos térmicos (proceso «Trailblazer», proceso «Vaxon», etc.). A continuación se expone una breve descripción de los procesos actualmente disponibles en el mercado:

Proceso «Vaxon»

Consta de una serie de evaporadores de ciclón al vacío, seguidos de un tratamiento químico de los destilados obtenidos. Hay varias etapas:

- la primera etapa elimina el agua, la nafta y los finales ligeros;
- la segunda etapa elimina el gasóleo, aceite para husillos o fuelóleo ligero de la masa de aceite usado;
- las etapas tercera y cuarta separan los diferentes cortes de destilado del residuo (en donde se encuentran todos los metales, aditivos, sedimentos, hidrocarburos pesados y componentes de degradación).

Los destilados resultantes estarán finalmente disponibles como combustible industrial de buena calidad. Este proceso ha sido modificado para crear aceites base rerrefinados (consulte la tabla 2.12).

Proceso «Trailblazer»

En este proceso el aceite usado de lubricante se deshidrata en una torre de evaporación, se empapa en calor y después se procesa por destilación en vacío para producir tres flujos de salida. La producción de aceite destilado sin cenizas con este proceso es del 80 % en seco.

Proceso de desasfaltado con propano (DAP)

Existen dos tipos de proceso. Éstos se conocen como de «etapa única» y de «dos etapas».

Se puede encontrar más información en la tabla 2.12. El aceite se mezcla con propano líquido a alta presión y a temperatura ambiente en la unidad de desasfaltado para la separación de la fracción asfáltica residual. Los componentes del aceite usado que no son solubles en propano (es decir, la fracción asfáltica que contiene carbón, aditivos metálicos, resinas, aditivos, polímeros, compuestos de degradación y asfalto) se precipitan y se pueden eliminar por medio de asentamiento. El proceso consta de los dos pasos que se muestran en la tabla 2.18:

Deshidratación y extracción del combustible	Predestilación. El agua, finales ligeros y trazas de combustible contenidos en el aceite usado de lubricante se eliminan mediante extracción atmosférica o vacío; para esta operación se pueden usar una o dos columnas
Desasfaltado	DAP, fraccionamiento e hidrot ratamiento. El asfalto se separa extrayendo las fracciones recuperables del aceite usado de lubricante con propano líquido. Existen dos versiones: 1) etapa única: después de la unidad de extracción de DAP, el aceite clarificado se separa del propano y se introduce en el hidrot ratamiento. Finalmente, el fraccionamiento en una columna de vacío produce los cortes de aceite lubricante deseados 2) dos etapas: el aceite clarificado procedente de la primera unidad de DAP se destila y fracciona en una columna de vacío. La fracción del fondo, que todavía contiene impurezas, se introduce en una segunda unidad de DAP; la fracción asfáltica resultante se vuelve a reciclar en la primera unidad de DAP. Las fracciones de aceite procedentes de los cortes laterales de la columna de vacío, junto con el corte pesado clarificado en la segunda etapa de DAP, se hidrogenan por separado en el hidrot ratamiento. El proceso de dos etapas, comparado con el de etapa única, ofrece una vida ampliada de los catalizadores del hidrot ratamiento, aunque requiere una inversión y unos costes de funcionamiento más elevados
Fraccionamiento	Destilación al vacío
Acabado	Arcilla o hidrot ratamiento: después de los siguientes pasos de destilación, el contenido en cloro de los destilados se reduce mediante un tratamiento con sodio metálico
Producción	74 % en seco en el proceso de IFP (97 % extracción de combustible por deshidratación, 80 % desasfaltado), 95 % hidroacabado (presión media) 80 % en seco para el Snamprogetti. 5 % combustible, 9 % gasóleo y 6 % residuo
Tamaño común de instalación	
Ventajas	Alto rendimiento y buena calidad de combustible residual (si está hidrot ratado)
Inconvenientes	Más o menos caro de acuerdo con el número de etapas del DAP. Cantidades importantes de residuos para eliminar
Comentario	Etapa única: IFP fue la primera empresa en aplicar esta tecnología en 1968 en Pieve Fissiraga, Italia (instalación Viscolube). Una instalación en Italia que produce 57 kt/año Dos etapas: Snamprogetti instaló esta tecnología en 1982 en la instalación de Ceccano (Viscolube), Italia.

Tabla 2.18: Información sobre el proceso de DAP
[7, Monier y Labouze, 2001], [86, GTT, 2003]

Usuarios

En Luisiana, EE. UU., hay una instalación de proceso «trailblazer» en funcionamiento con una capacidad de 150 kt/año de aceites usados de lubricantes. Algunos de dichos procesos son

similares a los usados en las refinerías. Los combustibles residuales de estos procesos se usan normalmente como aceite diésel para barcos o como combustible para centrales térmicas.

2.5.2.4.4 Desintegración térmica

Finalidad y principio de funcionamiento

La desintegración térmica utiliza calor para desintegrar moléculas de hidrocarburos de cadena larga (por ejemplo, las que se encuentran en los aceites usados) en otras más cortas, y generar así combustibles líquidos más ligeros. De esta forma, las moléculas más grandes de los hidrocarburos más viscosos y menos valiosos se convierten en combustibles líquidos menos viscosos y con más valor.

Flujos de alimentación y salida

La desintegración térmica puede aceptar varios tipos de materiales de hidrocarburos: aceites usados, combustibles residuales de barcos, aceites de cocina y, posiblemente por consideraciones de diseño, plásticos residuales (por ejemplo, aceites usados devueltos en su contenedor original). La estrategia de desintegración térmica es desintegrar las moléculas grandes viscosas en otras más cortas y más valiosas que van del fuelóleo pesado desmetalizado al aceite lubricante industrial ligero rerrefinado, incluyendo productos de gasóleo así como otros materiales para otros usos. De acuerdo con esto, la desintegración térmica se puede configurar para dar el siguiente conjunto de resultados (tabla 2.19).

Configuración de la instalación	Producción	%
1	Efluentes gaseosos	5
	Nafta	8
	Fuelóleo pesado desmetalizado o gasóleo naval	77
	Residuos pesados	10
2	Efluentes gaseosos	10
	Nafta	15
	Gasóleo (también conocido como combustible diésel, aceite de calefacción, aceite para hornos)	65
	Aceite lubricante ligero	Pequeña parte
	Residuos pesados	10
3	Efluentes gaseosos	5
	Nafta	10
	Gasóleo	30
	Aceite lubricante ligero rerrefinado ¹	45
	Residuos pesados	10
¹ A veces esta configuración se incluye como proceso de rerrefinado debido al porcentaje más elevado de aceite lubricante rerrefinado. Algunos materiales desintegrados se usan como aceite de flotación, aceite para desmoldeo o como absorbente de naftaleno en la limpieza de gases de los hornos de coque.		

Tabla 2.19: Ejemplo de producciones en condiciones de funcionamiento adecuadas [7, Monier y Labouze, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

Si se desea la configuración para la producción de gasóleo, éste es el modo de desintegración más completo y, por tanto, la entrada de calor se maximiza y se obtiene un rendimiento según la capacidad especificada. Si se prefiere fuelóleo pesado desmetalizado o aceite lubricante ligero como producto principal de la instalación, se pueden cambiar las condiciones de funcionamiento del proceso para lograrlo. Debido a estos hechos de viabilidad, la desintegración térmica ofrece una gran oportunidad para adaptar las fluctuaciones de los valores de mercado de los productos.

Descripción del proceso

El proceso se realiza a temperaturas muy elevadas (por lo que se evapora todo el agua presente). Después de la eliminación del agua, se elimina gran parte del contenido de metales pesados

como lodo o a través de un tratamiento con ácidos antes del paso de desintegración. El aceite usado pretratado se desintegra térmicamente a 420 °C a baja presión (sin catalizador). Los siguientes pasos de destilación y estabilización producen un combustible comerciable (gasóleo). Dependiendo de la intensidad de la desintegración, el material puede ser fuelóleo, un combustible adecuado para la combinación con diésel (diluyente de diésel) o materiales usados como aceite lubricante ligero y para otros usos. Hoy en día existen varios procesos como:

Procesos SOC

- SOC1: a la deshidratación le sucede la desintegración térmica, llevada a cabo en serpentines calentadores con tambores de homogeneización o calderas calentadas. Este proceso es apropiado para instalaciones pequeñas, en la gama de 6 a 15 kt/año, pero tiene una aceptación de alimentación limitada.
- SOC2: a la deshidratación le sucede la desintegración térmica llevada a cabo en un horno giratorio calentado indirectamente. Este proceso resulta adecuado para grandes instalaciones y también puede procesar más aceites refractarios que la desintegración térmica (como aceites sintéticos) y residuos con más carbón (combustible para calderas, etc.).

Procesos GNP

Esta desintegración térmica de aceites usados, que utiliza sistemas y equipos de «calibre de refinería», constituye un proyecto de desarrollo relativamente reciente. El proceso consiste en una etapa de filtrado y deshidratación seguida de una etapa de desintegración térmica, una etapa de separación o destilación, dependiendo de la mezcla de salida deseada, y, finalmente, una etapa de purificación y estabilización. Esta tecnología se caracteriza por una gran flexibilidad operativa y de producción y por su adaptabilidad a los cambiantes valores de mercado de los materiales. También se puede manipular para mantener la calidad de la producción, incluso con una amplia variabilidad de alimentaciones. De hecho, las condiciones operativas del proceso (temperatura, presión, tiempo de residencia, etc.) se pueden variar para producir un resultado principal (sea fuelóleo pesado, gasóleo o aceite base) que se pueda maximizar, mientras se minimizan los flujos de salida secundarios (consumidos en el proceso por el poder calorífico o vendidos).

El gasóleo térmicamente desintegrado es inestable si no se procesa más. Se puede decolorar rápidamente y precipitar gomas y alquitranes. Una operación de estabilización y purificación que complemente la desintegración térmica puede producir un gasóleo que no huela, que cumpla con los criterios de color normativos y del consumidor, que minimice la formación de gomas y alquitranes durante el almacenamiento y que no contenga muchos ácidos. Para ello, se encuentran disponibles varios métodos:

- el proceso «Robysth»,
- varios métodos de estabilización química (absorción de arcilla, extracción con disolventes),
- hidrotreatment. Excepto en la instalación independiente de desintegración térmica de aceites usados, este tratamiento puede no ser viable debido a los elevados costes de capital y los requisitos de gas de hidrógeno.

El rendimiento típico de la desintegración térmica es del 71 %, que se obtiene de los rendimientos parciales en los procesos del 95 % de deshidratación, 90 % de desintegración térmica, 83 % de destilación y 99,5 % de purificación/estabilización.

Usuarios

La desintegración térmica es un proceso común de refinado de aceites minerales sobradamente conocido y probado. En Europa existen al menos dos instalaciones. Una instalación en funcionamiento en Bélgica con una producción de 40 kt/año y otra en España con 20 kt/año. Esta última mezcla todas las fracciones ligeras y pesadas obtenidas para alimentar un motor térmico que produce electricidad. Hay más de siete instalaciones en funcionamiento en

EE. UU., con una capacidad total de más de 160 kt/año. El tamaño de instalación con esta tecnología va de las 7 a las 40 kt/año.

2.5.2.4.5 Hidrotratamiento

El hidrotratamiento es un nombre específico para la hidrogenación catalítica en la industria de los aceites minerales. Con los aceites usados, el objetivo principal es esencialmente eliminar los HAP. También reduce el contenido de azufre en el aceite (ésta es una característica potencialmente útil si la producción proyectada es diésel y diluyente de diésel).

2.5.2.5 Producción de biodiésel a partir de aceites usados vegetales

Finalidad

Producir biodiésel a partir de aceite usado vegetal.

Principio de funcionamiento

Implica la limpieza de los aceites usados.

Flujos de alimentación y salida

Los tipos de aceites usados tratados se recogen en instalaciones de transferencia de residuos y del sector de la restauración. La producción es principalmente biodiésel, que se usa para el transporte y la glicerina.

Descripción del proceso

Primero se filtran los aceites usados y se elimina el agua. Después se separa el aceite usados por medio de destilación para obtener los productos.

Usuarios

Al menos existen dos instalaciones en la UE (en España y Austria) y está planificada la construcción de otra en Portugal.

2.5.3 Preparación de combustible gaseoso a partir de residuos

Finalidad

Preparar un combustible gaseoso a partir de residuos líquidos o sólidos.

Principio de funcionamiento

Existen dos formas de producir combustibles a partir de residuos, y son:

- gasificación del residuo a altas temperaturas mediante la oxidación parcial y, a continuación, la conversión de los materiales que contienen carbono en gas de síntesis (principalmente H_2 y CO);
- producción de biogás (principalmente metano) por la digestión anaerobia del residuo (se incluye en los tratamientos biológicos del apartado 2.2.1).

Flujos de alimentación y salida

El aceite usado de lubricante se puede alimentar, sólo o en combinación con otras materias, en las instalaciones de gasificación para la conversión de materiales que contienen carbono en gas de síntesis (H_2 y CO). Este proceso también puede usar residuos mezclados que no se pueden separar por razones económicas; por ejemplo, aceite y plástico, que se pueden encontrar juntos cuando se devuelve aceite usado de lubricante en su contenedor original.

Descripción del proceso

Consulte los BREF de refinerías e incineración de residuos.

Usuarios

La tecnología de gasificación se ha usado en todo el mundo durante mucho tiempo en más de 100 instalaciones y ofrece una buena opción para la reutilización del aceite usado, así como de otros tipos de residuos. Esta opción se usa normalmente cuando el combustible de gas tiene un uso in situ. En Greve (cerca de Florencia, Italia), una gasificadora funciona usando pellets de CDR procedentes de Florencia. Aquí, se usa el combustible de gas con dos fines. El primero es producir electricidad en una instalación de calderas de gas para la red nacional. El segundo es proporcionar gas para un horno de cemento situado cerca de la gasificadora. El gas sintético también se puede usar para la producción de metanol.

2.6 Técnicas para la reducción de emisiones

[126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

Existen muchas técnicas para no producir emisiones que se están usando en el sector del tratamiento de residuos. En particular, las técnicas empleadas para controlar y reducir las emisiones al aire, el agua y el suelo también son importantes en este documento. Las descripciones de muchas de estas técnicas se pueden encontrar en el BREF sobre sistemas de gestión y tratamiento de aguas y gases residuales del sector químico y en el capítulo 4 de este documento (apartados 4.6 a 4.8), así como en otros BREF (por ejemplo, el de incineración de residuos). Estas técnicas no se describen en este apartado debido a que normalmente son técnicas que se pueden considerar en la determinación de las MTD y, en consecuencia, se describirán y analizarán en el capítulo 4.

3 NIVELES DE EMISIÓN Y CONSUMO ACTUALES

En este capítulo se recoge información sobre los niveles actuales de emisión y consumo de las instalaciones en el momento de la redacción de este documento. Los datos son muy diversos, ya que provienen de instalaciones para el tratamiento de residuos de muchos tipos y tamaños. El objetivo de este capítulo es el de dar a conocer, todo lo que sea posible, los niveles de emisión y de consumo de las diferentes instalaciones de tratamiento de residuos de forma integral, y de forma específica para cada proceso/actividad. En la mayoría de los casos, a partir de los datos presentados se puede calcular la concentración y los volúmenes de emisión de los centros de TR. Esto, a su vez, ayudará a la autoridad competente a expedir un permiso que verifique la información proporcionada por el solicitante en la solicitud de permiso.

La estructura de este capítulo es similar a la del capítulo 2, y sus apartados se dividen en:

- apartado 3.1: descripción general de las emisiones y consumos de los procesos/actividades habituales de tratamientos de residuos;
- apartados del 3.2 al 3.5: las emisiones y consumos de los diferentes procesos/actividades tratados en este documento. Insistimos en que dicha estructura/clasificación no debe considerarse como un intento de interpretación de la Directiva IPPC o de alguna legislación sobre residuos de la CE;
- apartado 3.6: las emisiones y consumos generados por las técnicas que se emplean para reducir las emisiones;
- apartado 3.7: los sistemas de supervisión empleados normalmente en las instalaciones para el tratamiento de residuos.

Los apartados comprendidos entre el 3.1 y el 3.6 siguen el orden establecido en el capítulo 2 con el fin de facilitar las remisiones entre los capítulos. Asimismo, los apartados se estructuraron de acuerdo con los pasos lógicos del flujo del material; por ejemplo, residuos entrantes (entrada), consumos (entrada), emisiones (salida) y, por último, residuos salientes (salida). La tabla 3.1 explica este orden con más detalle.

Apartado	Título del apartado	Información que contiene
3.X.1	Residuos entrantes	Descripción del tipo de residuos que pueden tratarse y de sus propiedades físico-químicas. Este apartado es importante porque el tipo de residuos entrantes es crucial para determinar las posibles emisiones, los desechos residuales y la composición de los materiales de salida residuales.
3.X.2	Consumos	Consumo de energía (por ejemplo combustible, calor, electricidad) y de sustancias químicas (por ejemplo agua, aire, aditivos, catalizadores).
3.X.3	Emisiones	Se incluyen las emisiones al aire y al agua de cualquier componente como resultado del funcionamiento del proceso o relacionado con la entrada de residuos. En este apartado también se incluyen los residuos relacionados con el tipo de proceso.
3.X.4	Residuos salientes	Cuando el material de salida de un determinado proceso se emplea como material de entrada en otro proceso, es importante conocer las propiedades físico-químicas del material de salida. En algunos casos, esta información no es importante y, por tanto, se omite.

X va del 1 al 6: 1. Técnicas habituales, 2. Tratamientos biológicos, 3. Tratamientos físico-químicos, 4. Tratamientos de regeneración, 5. Preparación del combustible residual y 6. Técnicas de reducción de las emisiones.

Tabla 3.1 Estructura de los apartados del capítulo 3.

La figura 3.1 muestra un diagrama del balance de masa/energía de una actividad/proceso/funcionamiento típico. Una entrada residual (en este documento denominada residuo entrante) se trata en una instalación y produce una salida tratada/procesada (en este documento denominada residuo saliente). Para cambiar las propiedades físico-químicas de los residuos entrantes, se requiere aportar al sistema la energía y las sustancias químicas (por ejemplo agua, aire, ácidos, etc.) necesarias para llevar a cabo dicho tratamiento. La aplicación/funcionamiento del tratamiento de residuos genera emisiones al aire y al agua,

además de residuos salientes inutilizables y posibles utilizables. Los procesos/funcionamientos generan residuos inutilizables (por ejemplo residuos de cal, fondos de los depósitos de almacenamiento, lodos) que se diferencian de los residuos salientes deseados. La razón para discriminar entre estos residuos es que los residuos salientes pueden utilizarse para diversos fines, aunque los residuos generados por los procesos normalmente no se reutilizan.



Figura 3.1: Residuos entrantes y salientes en una operación de tratamiento de residuos.

Nota: apartados 3.X.1: análisis de los residuos para tratar, flecha marrón; apartados 3.X.2: análisis de los consumos, flechas naranjas; apartados 3.X.3: análisis de las emisiones, flechas azules; apartados 3.X.4: análisis del residuo tratado, flecha verde.

La tabla 3.2 muestra en resumen las principales sustancias que las actividades de tratamiento de residuos liberan al medio ambiente.

Fuente	Sustancias liberadas										
	Partículas	NO _x , SO _x , HCl	NH ₃ , aminas	H ₂ S	HCN	COV	Olores	Otras sustancias orgánicas	Metales	Sólidos en suspensión	DQO
Actividades habituales											
Aceptación (muestreo/espera del vehículo)	A,a,T	A	A			A	A				
Traslado (canalización/tuberías/válvulas)		A	A	A	A	A	A	a,T	a,T	a	a
Almacenamiento de sólidos (por ejemplo cal)	A,a,T										
Almacenamiento en bidones, almacenamiento de líquido a granel y recipientes para el tratamiento		A	A			A	A	A	a	a	a
Traslado y almacenamiento de residuos	A,a,T					A	A	A	A,a,T	a	a
Carga y mezcla de los recipientes para el tratamiento	A,a,T					A	A	A	A,a,T	a	a
Retirada de los residuos sólidos del recipiente	A,a,T					A	A	A	A,a,T	a	a
Biológicas			A	A		A	A		a	a	a
Físico-química											
Precipitación/sedimentación y deshidratación	a						A	a	a	a	a

Neutralización ácida		A	A ⁽¹⁾	A		A ⁽²⁾	A ⁽²⁾	A ⁽²⁾ a	a		a
Neutralización alcalina			A				A	a	a		a
Neutralización del ácido crómico									a		
Tratamiento del cianuro					A		A				
Estabilización	A,a,T		A			A	A			a	a
Tratamiento de combustible residual						A	A	A			a
Notas: (1) Existe un problema específico con el tratamiento del ácido sulfúrico utilizado para depurar aminas liberadas. (2) Tratamiento convencional de residuos ácidos contaminados con disolventes. LEYENDA: Al aire (A) Al agua (a) A la tierra (T)											

Tabla 3.2: Resumen de las sustancias que generan las actividades de tratamiento de residuos y que normalmente se liberan al medio ambiente.

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

Con el objeto de complementar la información suministrada por el GTT sobre emisiones y consumos de las instalaciones de TR, se redactó un cuestionario que se envió a los miembros del GTT (véase el anexo II). Seguidamente, los miembros del GTT enviaron estos cuestionarios a las instalaciones de TR de toda Europa. Dichas instalaciones devolvieron un total de 70 cuestionarios cumplimentados a la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación. Se ha incorporado a este capítulo una recopilación de los datos obtenidos en este estudio, cuya referencia es [66, GTT, 2003]. El análisis definitivo del estudio no identifica nombres, empresas, cifras específicas y ni siquiera identifica comentarios individuales de los centros/empresas proveedoras. En definitiva, los datos se han tratado para preservar la confidencialidad de los proveedores e impedir la identificación de cualquiera de las fuentes.

3.1 Emisiones y consumos de las actividades/procesos habituales de tratamiento de residuos

[29, UK Environment Agency, 1996], [42, R.U., 1995], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [116, Irish EPA, 2003], [150, GTT, 2004], [156, VROM, 2004], [157, UBA, 2004]

Este apartado contiene datos de emisión y de consumo de los pretratamientos/actividades y de los postratamientos/actividades habitualmente utilizados en el sector del TR. Contiene los datos sobre emisiones y consumos relacionados con los procesos de TR descritos en el apartado 2.1. Se incluyen los centros que transfieren, acumulan y almacenan residuos.

3.1.1 Residuos entrantes en los tratamientos habituales

El tipo de residuos participantes en estos procesos es muy variado, sobre todo de residuos peligrosos. En la tabla 3.3 se reflejan los porcentajes de los centros que procesan un tipo determinado de residuos en las estaciones de traslado de residuos peligrosos en el Reino Unido. En los centros de traslado de residuos no peligrosos se tratan los residuos sólidos municipales, etc.

Flujos de residuo	% de centros que procesan cada flujo de residuos
Disolvente no clorado	67
Chatarra de metal	53
Chatarra de metal (bidones)	47
Disolvente clorado	40
Lodo/líquido inorgánico general	40
Compuestos orgánicos en general	40
Residuos para incinerar	40
Residuos contaminados para verter de forma controlada	40
Bidones/RIG	33
Residuos no peligrosos para verter de forma controlada	33
Aceite	33
Baterías	27
Amianto	13
Tubos fluorescentes	7
Filtros de aceite	7
Mezclas oleoacuosas	
Ácidos y bases	

Tabla 3.3: Flujos de residuos que habitualmente se procesan en los estaciones de transferencia de residuos peligrosos en el Reino Unido.

[56, Babbie Group Ltd, 2002]

A continuación se presentan algunos ejemplos de residuos entrantes para algunas técnicas habituales:

Zonas de almacenamiento con altos estantes controladas por ordenador para residuos peligrosos

Trata más de 600 tipos diferentes de residuos (residuos peligrosos líquidos, pastosos y sólidos).

Tratamiento de cantidades pequeñas

Normalmente incluye el tratamiento, clasificación y embalado de residuos peligrosos de residencias privadas, universidades, laboratorios, empresas y otros clientes. Además el sistema puede ofrecer la posibilidad de acondicionar el material inorgánico para soterrarlo.

Trituración

El tratamiento se emplea para residuos peligrosos y no peligrosos. Los residuos tratados son residuos sólidos y pastosos, residuos que no acumulan energía por bombeo como los lodos de laca e impresiones, aceite y otros lodos de maquinarias.

3.1.2 Consumos de los tratamientos habituales

Aunque muchos centros funcionan con electricidad, algunos tienen instalaciones móviles o fijas que usan gasóleo o fuelóleo o disponen de sus propias instalaciones generadoras de energía que emplean gas o gasóleo. Algunos equipos habituales que usan combustibles fósiles son carretillas elevadoras, calderas pequeñas, trituradoras y pulverizadoras. Éstos consumen una mezcla del gasóleo habitual para vehículos y una gama de fuelóleos. Algunas instalaciones de residuos en el Reino Unido han calculado que utilizan aproximadamente 200 toneladas de combustible al año. La proporción de materias primas (por ejemplo reactivos comprados) empleadas es relativamente baja ya que, en primera instancia, los residuos se utilizan para tratar otros residuos. No obstante, se están utilizando algunas materias primas nuevas, tal y como se recogen de forma resumida en la tabla 3.4.

Materia prima	Aplicación	Principales características ambientales
Hidróxido de calcio (cal)	Normalmente se adquiere en forma pulverulenta para un tratamiento ácido.	<ul style="list-style-type: none"> • sustancia peligrosa, • polvo difícil de manejar, • produce grandes volúmenes de lodos, • por ejemplo, el tratamiento del ácido sulfúrico produce una gran cantidad neta de lodos de sulfato de calcio.
Solución de hidróxido de sodio (sosa cáustica)	Reactivo reductor de la contaminación, normalmente utilizado en sistemas de depuración húmeda para controlar los gases ácidos o como líquido depurador en el reprocesamiento de aceites.	<ul style="list-style-type: none"> • sustancia peligrosa, • pueden hallarse valores muy pequeños de mercurio en algunos tipos de sosa cáustica, y estos pueden pasar al efluente de la instalación (véase el apartado 4.1.3.5).
Solución de cloruro férrico	Aditivo para ayudar en la precipitación de metales y como agente acondicionador para la formación de lodos (ya que ayuda en la floculación).	<ul style="list-style-type: none"> • mancha mucho en caso de vertido o accidente.
Hipoclorito de sodio	Utilizado en el tratamiento y reducción para depurar residuos de cianuro y controlar los olores.	<ul style="list-style-type: none"> • fuerte agente oxidante, • se almacena lejos de sustancias potencialmente incompatibles.
Desemulsio- nantes	Utilizados para «romper» las mezclas óleoacuosas emulsionadas en procesos de recuperación de aceites.	<ul style="list-style-type: none"> • riesgo de una gran demanda de oxígeno, en el caso de que se vierta al agua debido a un accidente.

Tabla 3.4: Ejemplos de materias primas que se emplean normalmente en los tratamientos de residuos.

[55, UK EA, 2001], [150, GTT, 2004]

3.1.3 Emisiones de los tratamientos habituales

Con la misma estructura del apartado 2.1 se discute en diversos apartados individuales acerca de los tratamientos habituales. Al final de este apartado, los tratamientos habituales no descritos anteriormente se muestran en forma de tabla.

Sistemas de energía

El empleo de combustibles supone una fuente constante de emisiones gaseosas durante la combustión, y posiblemente de emisiones al terreno debido a derrames o filtraciones. Las emisiones gaseosas son predominantemente de CO₂ (dióxido de carbono) y agua procedentes del proceso de combustión, aunque también NO_x, SO_x, P₁₀, HAP, COV y CO (monóxido de carbono). Las emisiones dependen de las especificaciones del combustible, y de la antigüedad y el uso del equipo (por ejemplo vehículos, motores de biogás). Otros contaminantes que pueden aparecer son los halógenos (por ejemplo HCl y HF cuando se utiliza el residuo como combustible dentro de la instalación) y metales.

La siguiente tabla contiene un conjunto de datos que pueden utilizarse para calcular las emisiones. Los datos se recopilaron de tres tipos de fuentes:

- fuentes lineales, carreteras y vías férreas (g/km);
- fuentes superficiales, emisiones de terrenos agrícolas y de otros terrenos, y emisiones de muy baja intensidad de fuentes como los sistemas de calefacción de los edificios;
- fuentes puntuales, emisiones de las fábricas industriales.

El tipo de combustible utilizado para encender el sistema energético (por ejemplo hornos, calderas y posquemadores) determinará la naturaleza de los contaminantes presentes.

	Tipo de combustible		
	Gas destilado	Combustible residual	Diésel
<i>Emisiones gaseosas</i>			
CO ₂ ¹	3142	3112	3036 – 3142
P			2,564
P ₁₀ ¹	0,2	2,85	2,83
NO _x ¹	3,46	7,54	33,9 – 48,8
N ₂ O			0,041 – 1,3
CH ₄			0,17 – 0,336
NM-COV ¹	0,09	0,12	7,08 – 10,898
CO ¹	0,06	0,5	15,8 – 26,548
SO ₂ ¹	3,6	47,4	0,8 – 10,106
SO _x	19,56 x S ²	20,42 x S ²	
HAP [@] (g)	0,15	0,151	4,07
Ni (g)	minúscula	1,1	
Cu (g)			1,7
Zn (g)			1
HCl			0,038
HF			0,038
<i>Emisiones líquidas</i>			
DBO			0,038
DQO			0,038
Sólidos en suspensión			0,038
COT			0,415
Fenol			0,038
Metales en total			0,038
Cl			0,038
F			0,038
Unidades: kg (salvo que se especifique lo contrario) por tonelada de combustible.			
¹ Datos extraídos de la base de datos de factores de emisión del Reino Unido; gasóleo (otras fuentes) y fuelóleo (otras fuentes), del Inventario de la Polución Nacional en Australia (convertido desde kg de emisión por m ³ de combustible) y la Agencia Europea del Medio Ambiente.			
² S es el % de azufre en el combustible.			
[@] como benzo(a)pireno			

Tabla 3.5 : Resumen de los datos para calderas pequeñas que emplean gas destilado, combustible residual (fuelóleos 5,6) o motores diésel. [56, Babbie Group Ltd, 2002], [59, Hogg, et al., 2002], [65, AEMA, 2003], [150, GTT, 2004]

Almacenamiento y manipulación

Las principales emisiones gaseosas durante el almacenamiento y traslado de residuos son las emisiones de COV. Según el tipo de residuo, el polvo también puede ser importante. Estos son los mayores problemas que surgen durante la manipulación y traslado de residuos en los centros de TR. Las principales emisiones se producen durante las actividades de traslado y acumulación ya que, en la mayoría de los casos, los residuos volátiles que se quedan en los contenedores se ventilan. Pueden liberarse emisiones de COV de los depósitos debido a las temperaturas y a los escapes en los sistemas de tuberías y de bombeo, aunque éstas dependerán del sistema instalado en la instalación.

La mayoría de las emisiones fugitivas al aire se producen durante el transporte, almacenamiento y acumulación de residuos orgánicos, sobre todo de residuos de disolventes. Se prevé que se produzcan emisiones similares durante el traslado de residuos amoniacales y de residuos ácidos fuertes.

Las principales emisiones que se producen durante los procesos de acumulación y decantación son al aire y pueden relacionarse con las siguientes prácticas, aunque algunas de ellas se consideren malas prácticas. El hecho de que a continuación se mencione un determinado tipo de práctica, no implica que se produzca en la mayoría de los centros:

- puede abrirse la tapa de los contenedores receptores durante la jornada laboral y dejar que los componentes volátiles se liberen de forma continuada, aunque sea por una pequeña apertura. Esta emisión está muy relacionada con el desplazamiento de los vapores saturados desde dentro del contenedor cada vez que se añade un líquido;
- emisiones directamente de los líquidos transferidos mientras se produce el traslado;
- contenedores vacíos (bidones o botellas) que contienen una cantidad apreciable de desechos, que al enjuagarse se vierten al proceso de tratamiento del centro o a los sumideros para ser eliminados posteriormente. En algunos casos, estos contenedores se colocan en otro contenedor de basura para enviarlos al vertedero o, cuando los contenidos son volátiles, se deja que se evaporen al aire con o sin triturar. Dicha práctica no cumple la Directiva de vertidos. En los centros que reciben grandes cantidades de disolventes, pueden utilizarse sistemas de trituración de bidones para extraer y recoger de forma adicional el disolvente residual de los bidones;
- el problema potencial de las filtraciones se produce durante el traslado, desplazamiento del producto en el espacio de cabeza por encima de la capa de líquido y ventilación de los residuos del contenedor original. Cuando el material se conserva en depósitos de almacenamiento, se exhalan por acción de la presión y de la temperatura atmosférica. El problema es más grave durante los traslados de los disolventes, aunque también es importante con ácidos fuertes y residuos que contengan amoníaco. Dicha práctica no se considera una buena práctica ambiental;
- el traslado de materiales desde los depósitos cisternas a los depósitos de almacenamiento se controla en muchos centros, sobre todo cuando existen residuos disolventes con un bajo punto de ebullición. El punto más débil y, por tanto, la principal fuente de derrames durante el traslado desde los vehículos hasta los depósitos de almacenamiento se encuentra en las mangueras de traslado;
- aunque el volumen derramado durante las operaciones ordinarias debido a un mal acople de las mangueras o a que éstas se encontraban en mal estado puede ser relativamente pequeño, si persisten dichos derrames podrían tener un efecto acumulativo sobre la superficie y, a largo plazo, contaminar la superficie y producir una emisión fugitiva;
- los derrames pueden constituir una fuente de malos olores;
- normalmente no se controlan las emisiones durante el traslado manual de materiales desde contenedores pequeños a bidones de 205 litros y RIG, y es una práctica habitual ventilar los contenedores vacíos (que quizá contienen un 1 %, o hasta 0,5 litros, del contenido original) antes de enviarlos al vertedero. Dicha práctica no cumple la Directiva de vertidos;
- Con relación a la supervisión y otras actividades in situ, merece la pena resaltar que:
 - la mayoría de los centros no disponen o disponen de muy pocos datos para calcular las emisiones gaseosas, y se precisa de algún método de estimación aproximada que relacione las potenciales emisiones gaseosas con el número de depósitos cisternas o de contenedores llenados o vaciados en el centro;
 - normalmente se dispone de un número limitado de datos de control sobre los vertidos al desagüe o a las aguas superficiales, aunque los vertidos reales están minimizados por las prácticas de funcionamiento de los centros, que usan por ejemplo un sistema de contención de los fluidos mediante diques;
 - los centros de traslado también realizan una serie de prácticas que pueden generar emisiones. Entre éstas se incluyen la evaporación de disolventes al aire en la limpieza de los depósitos, soldadura industrial y lodos de disolventes.

La variedad de emisiones es muy amplia y depende del tipo de actividad (por ejemplo existen notables diferencias entre los instalaciones de tratamiento físico-químico y las instalaciones de reprocesamiento de aceites). Todos los traslados de residuos y procesamientos del contenedor original pueden generar emisiones de líquido y vapor. A continuación se recogen algunas emisiones que genera esta actividad:

- fondos de los depósitos de almacenamiento;

- emisiones gaseosas generadas al cargar y al descargar los depósitos cisternas debido al desplazamiento del aire (nota: algunos centros de traslado tienen sistemas muy bien equipados para contrarrestar las emisiones y supervisar las descargas de los depósitos);
- emisiones por evaporación durante la decantación (por ejemplo COV) y acumulación, también por evaporación de los residuos que se quedan en los contenedores;
- derrames en general durante la decantación y la manipulación. Los derrames normalmente quedan retenidos en la zona de contención o se vierten al interceptor de alcantarillado;
- emisiones gaseosas generadas por los trapos impregnados con los disolventes. En algunas instalaciones, éstos se acumulan en los revestimientos interiores sellados y se dejan secar mediante evaporación antes de enviarlos al vertedero. Ésta se considera una mala práctica ambiental;
- COV procedentes de la ventilación de los bidones vacíos mientras se están lavando (lavado de los depósitos de almacenamiento subterráneos antes de enviarlos al vertedero) y procedentes de la evaporación de los disolventes en general lavados de los depósitos subterráneos;
- emisiones producidas por los residuos de laboratorios. Las emisiones normalmente sólo se producen en caso de derrames y quedan registradas en los diarios del centro. Las discusiones generales mantenidas en los centros dejan entrever que el número de contenedores que no cumplen con los estándares y están mal clasificados en esta categoría son mínimos en la actualidad y, también, que las emisiones y derrames por causa de contenedores deficientes son escasos;
- rotura accidental de los contenedores de residuos;
- en depósitos de almacenamiento al descubierto, superficies duras y zonas de contención, y en las que a pesar de que las conexiones se encuentran sobre la zona de contención, no existe un mecanismo de control de fugas en los sistemas de captación/abastecimiento y, por tanto, toda la zona de contención es susceptible de ser contaminada. El agua de la lluvia en la zona de contención también quedará contaminada. En algunos centros, no existen métodos de control del desplazamiento del aire en los depósitos durante los procesos de carga y descarga; sin embargo, en otros disponen de excelentes sistemas de control para depósitos y depósitos cisternas. Las emisiones gaseosas están menos controladas. Los depósitos suelen tener un sistema de válvulas para regular la presión del depósito y para permitir la inhalación/exhalación de los vapores del espacio de cabeza. Las emisiones al aire se producen durante el proceso de carga del depósito o debido a las condiciones atmosféricas. Durante el muestreo e inspecciones también se pueden producir pequeñas emisiones. Existe el riesgo de que se produzcan emisiones extraordinariamente grandes durante la limpieza del depósito;
- los líquidos y sólidos sin evaporar que pueden acabar en el vertedero o en las alcantarillas. Ésta se considera una mala práctica ambiental;
- emisiones fugitivas gaseosas en las operaciones de traslados entre procesos, sobre todo con sistemas sin bombeado. También fugas en los contenedores y válvulas de alivio de presión/vacío;
- emisiones sólidas, líquidas y gaseosas debidas a una posible ruptura del contenedor durante su manipulación (daño accidental), según los residuos. El valor de estas emisiones puede calcularse cuando se conoce el material, ya que los accidentes se registran en el diario del centro;
- en el caso de almacenamiento de combustibles residuales, las emisiones al aire se producen durante la refrigeración de los depósitos de almacenamiento de aceites calientes. En el depósito de almacenamiento, las medidas de la ventilación de los hidrocarburos se realizan con los tubos Draeger y los valores típicos están comprendidos entre 10 y 20 mg/Nm³ con valores máximos de 100 mg/Nm³;
- las investigaciones sobre la contaminación microbiológica en las instalaciones de clasificación de los residuos revelaron que las concentraciones de hongos en el aire del lugar de trabajo son incluso superiores a las 10⁶ ufc/m³ (unidades formadoras de colonias).

Como complemento a la información anteriormente presentada, la tabla 3.6 muestra las emisiones potenciales en las estaciones de transferencia, procesos de acumulación y almacenamiento.

Actividad	Descripción de la emisión ¹	Tipo de emisión	Emisión al
Llenado de depósitos de almacenamiento para graneles o RIG por camiones cisternas	Aire desplazado	COV	Aire
	Pérdidas en los traslados	COV	Aire
		Líquidos	Suelo
		Líquidos	Agua
Almacenamiento en los depósitos para graneles	Materiales ventilados	COV	Aire
	Fondos de los depósitos	Residuo	
Emisiones de los sistemas de tuberías y de bombeo	Todas las pérdidas	COV	Aire
		Líquidos	Agua
		Líquidos	Suelo
Vaciado al vacío y por gravedad de los bidones, RIG y otros contenedores para graneles.	Aire desplazado	COV	Aire
	Pérdidas en los traslados	COV	Aire
		Líquidos	Suelo
		Líquidos	Agua
Almacenamiento y manipulación de RIG vacíos.	Lavado	Líquidos	Agua
	Almacenamiento	COV	Aire
	Eliminación	Líquidos/sólidos	Vertedero
Almacenamiento y manipulación de bidones y de otros contenedores similares vacíos.	Triturado	COV	Aire
		Líquidos/sólidos	Agua
		Líquidos/sólidos	Suelo
	Lavado	Líquidos/sólidos	Agua
	Eliminación	Líquidos/sólidos	Vertedero
	Almacenamiento	COV	Aire
Mantenimiento del equipo	Limpieza/lavado de los depósitos	Líquido/sólido	Suelo
		Líquido/sólido	Agua
		COV	Aire
Evaporación prevista de los líquidos volátiles	Evaporación	COV	Aire
¹ La gran variedad de posibles emisiones al aire y a las aguas de alcantarillado/controladas debe determinarse en función del número de actividades y de residuos manipulados en cada sitio en particular.			

Tabla 3.6: Emisiones potenciales en las estaciones de transferencia, procesos de acumulación y almacenamiento.
[56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003]

Emisiones producidas por otros tratamientos habituales de residuos

En la tabla 3.7 se resumen las actividades/equipos más frecuentes en los procesos habituales de tratamiento de residuos y las emisiones que pueden producir.

Proceso/actividad	Compuestos encontrados en los procesos de TR que pueden producir emisiones
Columnas de extracción de aire	Pueden liberar amoníaco al aire, que puede calcularse mediante un balance de masas.
Residuos de limpiezas o residuos orgánicos acuosos procedentes de la industria química	Éstos pueden contener una variedad de compuestos volátiles, clorados o fenólicos. Los residuos sólidos y fangosos producidos durante la limpieza se eliminan como desechos. Si fuera necesario, se acondicionan con arreglo a los criterios de aceptación del centro de eliminación de residuos.
Trituración de los filtros de aceite	Los residuos retenidos en los filtros de aceite son partículas que contienen productos de la combustión, entre los que se incluyen muchos HAP/fragmentos metálicos, etc. mezclados con el aceite. Los sólidos de estas operaciones suelen ir al sistema de separación oleoacuosa en las instalaciones de tratamiento, y abandonarlo con los lodos del fondo. Los HAP se volatilizan al aire en la mezcla oleosa producida durante la trituración, o puede que permanezcan en el aceite o en los componentes sólidos del filtro. Las emisiones de HAP al aire son potencialmente cancerígenas.
Corte	Durante las operaciones de corte de los bidones, el contenido inicial de éstos y los residuos que aún puedan estar presentes pueden provocar emisiones.
Lavado de los contenedores y vehículos	Las emisiones fugitivas se liberan al aire y al agua. Normalmente, también se genera un efluente contaminado.
Trituración	Independientemente de la técnica empleada, normalmente no se realiza un control ambiental y las emisiones dependen de la composición de los residuos contenidos en los bidones. En el proceso de trituración, la temperatura de los materiales triturados puede alcanzar varios cientos de grados. La trituración provocará emisiones al aire, en función de la eficacia del reactor o de cualquier otro equipo de depuración del aire. Los fluidos aún presentes en los residuos (por ejemplo disolventes, mercurio) pueden liberarse al interior de la instalación y pueden evaporarse o filtrarse al suelo o acumularse en los lodos. El polvo de la instalación se esparcirá por los alrededores. Otras salidas de la instalación de trituración son fracciones metálicas magnéticas, fracciones metálicas no magnéticas, lodos del proceso de lavado y una fracción esponjosa compuesta por plásticos, materiales de aislamiento, papel, tierra, etc. La fracción esponjosa puede disponerse para ser incinerada, aunque a veces se envía al vertedero (lo que no se considera una buena práctica ambiental). Una cantidad bastante importante de metales pesados acompañan a la fracción esponjosa. A mitad de los noventa, las instalaciones trituradoras danesas trituraron aproximadamente 300.000 toneladas de residuos. Se calculó que la fracción esponjosa contenía aproximadamente 0,15 toneladas de mercurio, 200-1000 toneladas de plomo y 0,5-2,5 toneladas de cadmio. Se calculó que la emisión de mercurio al aire durante las operaciones de triturado fue de < 0,05 toneladas.
Limpieza de los bidones y de los camiones cisterna	Las operaciones de limpieza que se centran en la limpieza de bidones que previamente contenían residuos de aceites y disolventes pueden liberar grandes porcentajes de residuos al aire, ya que los residuos de los disolventes se expulsan al aire ocasionalmente y, en algunos lugares, durante el proceso de limpieza. Éste resulta ser un problema parecido al de la evaporación de disolventes al aire durante la decantación en algunas estaciones de transferencia. La presencia de algún contenido o residuo en los bidones puede causar emisiones durante las operaciones de limpieza/lavado. En algunos centros, los bidones sin limpiar pueden enviarse directamente al vertedero junto con los correspondientes residuos. Se estima que un centro que procesa bidones contaminados con materiales orgánicos y oleosos emite al aire 40 toneladas anuales de disolvente. Parte de esta emisión se debe a la práctica habitual de la estación de transferencia de ventilar los bidones «vacíos». Un centro de reciclaje de bidones procedentes del sector inorgánico presentó niveles altos de metales en el alcantarillado, aunque podía calcular dicha descarga mediante análisis regulares. La mayoría de los centros de tratamiento incorporan una instalación de lavado para eliminar los residuos de los barriles de los vehículos cisterna. En algunos casos, los vapores pueden quedar atrapados en los lodos y, por tanto, deben tomarse las medidas necesarias para evitar emisiones incontroladas.

Tabla 3.7: Actividades/equipos que pueden provocar emisiones durante algunos tratamientos habituales de residuos.

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [113, COWI A/S, 2002], [116, Irish EPA, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

Trituración

Parámetro	Concentración	Unidad
Polvo	0,1	mg/Nm ³
SO ₂	<0,06	mg/Nm ³
NO _x	8	mg/Nm ³
COT	5	mg/Nm ³
CO	4	mg/Nm ³
HCl	13,8	mg/Nm ³
PCDD/PCDF	0,001	ng de EQT/Nm ³
Olor	85	GE/m ³
Cl	<0,1	mg/Nm ³

Los flujos de aire expulsado son de 8.028.000 y 5.628.000 m³/año para las trituradoras de latas y recipientes respectivamente.

Tabla 3.8: Aire expulsado en la trituración de residuos sólidos peligrosos. [157, UBA, 2004]

Emisiones accidentales

Los riesgos ambientales más importantes relacionados con las operaciones de tratamiento de residuos se producen durante el almacenamiento de residuos peligrosos. Entre estos riesgos se encuentran las emisiones producidas por residuos que reaccionan conjuntamente, ya sean por fugas y derrames o por procesos de tratamiento fuera de control.

Procedimiento	Peligro	Acontecimiento peligroso	Causa o posible acontecimiento iniciador
Muestreo/ análisis	Vapores tóxicos	Rociado de sustancias químicas Estallido Vertido químico	Contenedor sometido a presión. Traslado desde un recipiente de muestras y retirada de muestras (barril-muestreador). Residuos imprevistos.
	Fuego	Encendido de material inflamable	Vapores inflamables en el momento del muestreo.
Tratamiento/ manipulación general	Gases tóxicos	Mezcla de residuos incompatibles	Datos incorrectos/inadecuados sobre los residuos.
		Vertido de residuos	El operador no trabaja con arreglo a las prácticas seguras. No se estableció ningún procedimiento de trabajo seguro. Ingeniería de la instalación inadecuada. Supervisión inadecuada. Descarga accidental.
Almacenamiento/ manipulación de bidones	Contacto químico directo	Estallido	Contenidos sometido a presión.
	Gases tóxicos Polvos	Vertidos	Derrame de contenidos durante la decantación/vaciado. Bidón corroído o con fugas. Retirada manual de los contenidos.
	Reacción Gases tóxicos	Mezcla de residuos incompatibles	Vertidos/bidones corroídos. Bidones para graneles. Residuos no conformes con su etiquetado. Residuos analizados inadecuadamente.

Procedimiento	Peligro	Acontecimiento peligroso	Causa o posible acontecimiento iniciador
	Fuego explosión	Encendido de material inflamable	Existencia imprevista de materiales inflamables. Chispas al quitar la tapa/espacio de cabeza inflamable. Uso de herramientas cortantes para abrir los bidones. El fuego produce productos de degradación tóxicos.
Descarga de depósitos cisterna	Gases tóxicos	Escapes de líquidos o de gases en spray	Residuos reactivos/incompatibles mezclados. Contenedores sometidos a presión/estallidos. Descarga a recipientes de almacenamiento equivocados. Residuos recibidos «calientes» debido a la viscosidad, problemas de solidificación/espesamiento. Avería grave en el depósito cisterna. Impacto del vehículo. Derrames durante el acoplado/desacoplado, fallo en el acoplamiento.
	Fuego Explosión	Encendido de mezcla explosiva/inflamable	Atmósfera inflamable en un «depósito cisterna vacío».
Depósito de almacenamiento de residuos	Fuego/ Explosión	Encendido de vapores o de líquido inflamable	Ventilación de vapores inflamables. Emisiones de vapores de los vertidos. Fallo en las canalizaciones. Vapores inflamables en el espacio de cabeza.
	Reacción	Mezcla de residuos incompatibles	Los reactivos reaccionan en las canalizaciones de los recipientes de almacenamiento o fallo del transportador.
	Gases tóxicos	Mezcla de residuos reactivos o incompatibles en el lugar de almacenamiento, o derrame de un reactivo	Datos insuficientes sobre los residuos. Los residuos no son conformes con las especificaciones del proceso.
		Liberación de cantidades significativas de gases/humos tóxicos	Ventilación inadecuada de los depósitos, etc. Malas prácticas de manipulación de materiales.
Tratamiento físico-químico	Gases tóxicos	Emisión incontrolada durante la reacción	Fallo en los sistemas de protección. Mezcla de residuos incompatibles. Adición de un reactivo equivocado. Adición de reactivos en exceso o en defecto. Fallo en el control del pH.
Deshidratación del efluente del tratamiento físico-químico	Gases tóxicos	Mezcla de efluentes incompatibles	Reacción incompleta. Contaminación residual en los efluentes.

Procedimiento	Peligro	Acontecimiento peligroso	Causa o posible acontecimiento iniciador
Tratamiento biológico		Fuego	Los procesos de degradación biológica pueden provocar un autocalentamiento o autoinflamación. Esto no sólo afecta al sistema de tratamiento biológico. La autoinflamación también puede ocurrir en el depósito de combustible. En algunos casos el fuego puede surgir en la zona de almacenamiento del producto. Las partículas incandescentes también provocan incendios en las instalaciones de procesamiento de residuos de combustibles sólidos.

Tabla 3.9: Ejemplo de los accidentes más frecuentes que ocurren en las instalaciones de TR. [80, Petts y Eduljee, 1994], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

Emisiones genéricas gaseosas de los tratamientos habituales de residuos

COV

En la actualidad no hay datos publicados sobre emisiones de COV. La gran mayoría de los centros que analizan el aire, no lo hacen regularmente y, por tanto, es improbable que tomen muestras en los momentos de máxima emisión. Las emisiones gaseosas son especialmente difíciles de controlar en estos centros, ya que las operaciones se llevan a cabo normalmente al aire libre y no siempre se controlan los gases. Las emisiones de COV en un centro pueden deberse a:

- procesos intencionados que se llevan a cabo en algunos centros para reducir la inflamabilidad de los residuos que se van a enviar al vertedero. Las cantidades pueden ser muy pequeñas por unidad de residuo, pero la operación tiene lugar en muchos centros y el efecto acumulado puede llegar a ser importante. Esta práctica no es común en el sector, y se considera una mala práctica que ya está obsoleta;
- la agitación o calentamiento de la mezcla de materiales dejados en contacto con la atmósfera. Los depósitos de tratamiento de combustibles son un ejemplo claro, aunque los depósitos de mezcla de lodos o los depósitos de tratamiento químico también son buenos ejemplos;
- emisiones de HAP semivolátiles de los procesos de trituración y cribado, sobre todo de la manipulación de los filtros de aceite en las estaciones de transferencia;
- el traslado de líquidos a los depósitos para graneles, con el posterior desplazamiento del espacio de cabeza del producto encima de la capa de líquido;
- la ventilación de residuos en los contenedores de almacenamiento originales, y también a la exhalación de los depósitos de almacenamiento como respuesta a los cambios de temperatura atmosférica.

Existen instalaciones en el sector del TR que no realizan controles sobre las emisiones al aire de compuestos volátiles, no obstante pocos procesos se han diseñado para emitir contaminantes al aire.

Emisiones ácidas

Las emisiones gaseosas más graves tal vez las provoquen las actividades de almacenamiento y de traslado de disolventes, aunque también puede que las provoquen las sustancias químicas como por ejemplo los ácidos fuertes y el amoníaco.

Emisiones amoniacaes

Se ha detectado amoníaco en algunos centros de TR. Las emisiones amoniacaes son un problema general. Sin embargo, es muy fácil de identificar durante las visitas a los centros y

también por los operadores debido a su baja concentración umbral para la detección del olor, a pesar de que es difícil de cuantificar. Los lugares en donde se han detectado emisiones amoniacales son:

- en el almacenamiento y traslado de disolventes;
- en el prensado y almacenamiento de lodos efluentes en diversas instalaciones de tratamientos de sustancias químicas. Esta es una zona a la que casi nunca llegan los sistemas de escape del centro y, por tanto, las emisiones no pasan por las depuradoras del centro. Además, los sistemas de depuración normalmente son cáusticos;
- las soluciones amoniacales fuertes que se encuentra directamente en contacto con el aire después de extraer el aire en un centro, aunque el análisis (sólo se realiza un análisis anual) diga que los niveles atmosféricos son mínimos;
- instalaciones de tratamiento de efluentes;
- tratamiento ácido de los aceites residuales;
- los residuos de la industria fotográfica constituyen un ejemplo de flujo de residuos con una alta concentración de sales de amonio y, aunque no se detecten las emisiones gaseosas, éste es un problema potencial durante los procesos de traslado que dan lugar a emisiones gaseosas y a riesgos de contaminación de los vertidos acuosos.

Emisiones difusas y fugitivas

En muchas instalaciones, las emisiones difusas o fugitivas pueden ser más importantes que las canalizadas o de fuentes puntuales. Los ejemplos más habituales de fuentes son:

- recipientes abiertos (por ejemplo, en instalaciones de tratamiento de efluentes);
- actividades de muestreo;
- zonas de almacenamiento (por ejemplo, bahía, almacenes, lagunas, etc.);
- carga y descarga de contenedores;
- traslado/acumulación de material de un recipiente a otro;
- sistemas transportadores;
- sistemas de canalizaciones y conducciones (por ejemplo bombas, válvulas, bridas, sumideros, desagües, compuertas de inspección, etc.);
- insuficiente extracción y contención del edificio;
- desviaciones potenciales del equipo de reducción de las emisiones (al aire o al agua);
- derrames;
- pérdida accidental de la contención por fallos en el equipo y instalación;
- apertura de los depósitos cisterna, recipientes, bocas de acceso y otros punto de accesos;
- vapores desplazados en los depósitos receptores;
- limpieza o sustitución de filtros;
- corte de bidones;
- almacenamiento de agua residual;
- almacenamiento de bidones;
- limpieza de los depósitos;
- limpieza/lavado de los camiones cisterna.

Emisiones de partículas

La manipulación de residuos y polvos en los centros da lugar a partículas (por ejemplo cenizas volantes), que a menudo se emiten al aire.

Ruido y vibración

«Ruido» hace referencia a «ruido o vibración» normalmente perceptible fuera de los límites del centro.

Emisiones de olores

Las emisiones al aire suelen verificarse subjetivamente mediante el sentido del olfato. Las emisiones de olores se asocian con fuentes puntuales y fugitivas. Aparte del amoníaco, que ya se ha mencionado, la manipulación de cualquier sustancia que contenga un COV (u otras

sustancias olorosas, por ejemplo, mercaptanos u otros componentes que contienen azufre) producen potencialmente un olor perceptible fuera de los límites de las instalaciones. Los olores pueden surgir de:

- el almacenamiento;
- el traslado o acumulación de residuos que contengan COV u otras sustancias olorosas;
- un error en la inspección y mantenimiento de la instalación y el equipo, que puede producir emisiones fugitivas; por ejemplo fugas en las bombas.

Emisiones genéricas líquidas durante los tratamientos habituales de residuos

Se puede distinguir entre las instalaciones que realizan tratamientos de fase sólida o «seca», por ejemplo, traslado o estabilización, que no producen un efluente líquido bien diferenciado, e instalaciones que realizan tratamientos de fase líquida, por ejemplo neutralización de ácidos y separación de agua y aceite.

Los procesos «secos» normalmente sólo producen efluentes en actividades como la recogida del agua de lluvia y en accidentes como los derrames y filtraciones. En términos generales, la fuerza de este efluente con respecto a los niveles de DQO y metales será relativamente baja. Los procesos «húmedos», aparte del efluente general procedente del drenaje de la zona de almacenaje, etc., producen un efluente en los procesos de reacción, precipitación, sedimentación y deshidratación.

Las instalaciones pueden generar aguas residuales debido a:

- vertidos imprevistos al alcantarillado (por ejemplo control de emergencia, incendio);
- derrames procedentes del almacenamiento;
- vertido al desagüe para aguas pluviales;
- fugas de contenidos de las zonas de contención primaria y secundaria;
- procesamiento de aguas residuales (todos estos casos se tratan en los apartados del 3.2 al 3.5).

Muchos centros de traslado funcionan en asociación con instalaciones de tratamiento adyacentes y todas las escurrientías van a parar al sistema de tratamiento donde son tratadas. Otras recogen las escurrientías y las guardan en depósitos cisterna para enviarlas al vertedero. De nuevo, no se producen vertidos al alcantarillado o aguas receptoras. El resto de las instalaciones vierten a las aguas superficiales (opción poco común) o al alcantarillado. En la inmensa mayoría de los países de la UE, está prohibido realizar vertidos directamente al alcantarillado o a las aguas controladas. Se precisa un depósito de seguridad para controlar o tratar el agua antes de verterla. En la tabla 3.10 se recogen algunas emisiones habituales:

Emisiones al	Proceso o actividad
Alcantarillado	Tratamiento físico-químico. Efluente final de la neutralización ácida/alcalina y la precipitación de metales.
	Reprocesamiento de aceites. Tratamiento de efluentes para retirar aceites del desagüe, la zona de almacenaje y del condensado.
	Limpieza.
Curso de agua	Recogida de agua pluvial.
	Desagüe de la zona de almacenaje.

Tabla 3.10: Emisiones al agua de fuentes puntuales.
[55, UK EA, 2001]

En principio, siempre se verterán al alcantarillado pequeñas cantidades de todos los materiales decantados en el centro, debido a los goteos y salpicaduras aunque no se haya registrado ningún derrame. Los materiales más comunes acumulados en las estaciones de transferencia son ácidos diluidos (a menudo procedentes del tratamiento de metales), soluciones cáusticas, aceites, disolventes no halogenados y residuos orgánicos acuosos. El vertido contendrá casi con total

seguridad carbonos orgánicos, componentes nitrogenados, cloro, algunos metales y, cuando se acumulan disolventes no halogenados, xileno. Los vertidos al alcantarillado pueden alcanzar valores de DQO de varios miles de miligramos por litro. La naturaleza del vertido depende de los residuos manipulados en la instalación, en el que indefectiblemente se ven implicadas una gran variedad de sustancias, que dan lugar a un efluente complejo.

Las emisiones al agua también se producen al lavar los contenedores y depósitos, cuando la limpieza se lleva a cabo en la instalación de TR. Los vertidos pueden proceder del lavado y procesamiento de contenedores antes de ser reprocesados, o del lavado de los camiones cisterna. Un método para inferir el valor de dichas emisiones es considerar que el material residual en todos los tipos de contenedores vacíos es el 0,5 % del volumen, y que todo este material termina en el alcantarillado. En general, los residuos volátiles de los contenedores de residuos disolventes se evaporan directamente en el aire en lugar de acabar en el alcantarillado.

En las estaciones de transferencia de residuos pueden ocurrir derrames y fugas generales. La mayoría de los centros se encuentran sobre superficies duras, y los sólidos y los líquidos derramados los recogen los interceptores principales y los envían a la alcantarilla o a una instalación de tratamiento adyacente.

Emisiones genéricas al terreno y residuos generados en los procesos a partir de las técnicas habituales

La mayoría de los centros vierten de forma continua, pero en pequeñas cantidades, residuos al suelo debido a goteos, salpicaduras, residuos de la trituración, conexiones de las tuberías, fugas de aceites, etc., y éstas pueden ser arrastradas hasta los puntos de recogida de agua superficiales por el agua de lluvia o el agua para limpiar el centro. Los fondos de los depósitos son otros residuos típicos que se generan al almacenar residuos.

Ejemplo de inventario de emisiones en una estación de transferencia de residuos

Operación	Emisiones al aire (kg/año)	Emisiones al alcantarillado (kg/año)
Reembalaje y etiquetado de las sustancias químicas de laboratorio	0	0
Rupturas/fugas durante los procesos de carga y almacenamiento	COV como TRI 20,3	Pequeñas cantidades de combustible, aunque se reflejaran en los datos de control semanales y sin duda se contarán.
Decantación en RIG	Diclorometano 360 Etanal 48 Tricloroetileno 60 COV como TRI 60 COV 1320 Xileno 360	Todas los tipos de disolventes Nitrógeno total Fósforo total Cloro COT Metales
Traslado desde RIG a depósitos de almacenamiento de disolventes	Etanal 76 COV 1330 Xileno 570	Xileno COT
Combustible utilizado por carretillas elevadoras (uso de 5 toneladas de gasóleo al año)	CO 79 CO ₂ 15710 NM-COV 35,4 NO ₂ 244 P ₁₀ 14,15 SO ₂ 4	COT
Vertidos al alcantarillado	0	COT 5980 NH ₃ -N 14 Cu 0,5 Ni 0,5 Zn 0,5 Aceite 150 Xileno, tolueno, TRI, tricloroetileno, Cl, residuos con trazas de fósforo.

Operación	Emisiones al aire (kg/año)	Emisiones al alcantarillado (kg/año)
Totales	CO 79	COT 5980
	CO ₂ 15710	NH ₃ -N 14
	Diclorometano 360	(se supone que no puede alcanzar el límite de nitrógeno)
	Etanal 124	Cu 0,5
	NO ₂ 244	Ni 0,5
	P ₁₀ 14,15	Zn 0,5
	SO ₂ 4	Aceite 150
	TRI 80,3	Xileno, tolueno, TRI, tricloroetileno, Cl, P
	Tricloroetileno 60	
	COV 2706	
	Xileno 930	

Descripción general de la instalación

Los datos arriba indicados corresponden a una estación de transferencia de residuos peligrosos equipada con una base impermeable. Presenta zonas de acumulación con pozos ciegos y un tejado. Los depósitos de almacenamiento de disolventes se encuentran en una zona de contención separada con filtros de carbón activo en los respiraderos. Las exhalaciones termales y las pérdidas por desplazamiento del espacio de cabeza al cargar los depósitos de almacenamiento se depuran antes de emitirlas al aire. Las zonas de carga, descarga y almacenamiento de bidones del centro se encuentran al descubierto y drenan al interceptor y de ahí a la alcantarilla. Existe un control permanente del pH y de la magnitud de flujo, y un control semanal de los DQO, metales, aceite, nitrógenos amoniacales y sólidos en suspensión en el alcantarillado. Los materiales de embalaje y los viejos contenedores contaminados se envían al vertedero.

El centro manipula una amplia gama de materiales, aunque principalmente los siguientes flujos:

- disolventes halogenados que como media se componen de un 80 % de disolvente y un 20 % de sólidos. De la fracción de disolvente, el 10 % es tricloroetileno, el 10 % 1,1,1 tricloroetano y el 60 % diclorometano.
- los disolventes no halogenados como media se componen de un 70 % de disolvente y un 30 % de sólidos y agua. Los disolventes constan de un 10 % de tolueno, 30 % de xilenos, 10 % de acetona y un 20 % de otros, sobre todo MEK, etanol, etanal, metanol e hidrocarburos C₁₀-C₁₂ alifáticos.
- los otros flujos de residuos principales son ácido hidroclórico diluido y cinc, ácido sulfúrico y ácido fosfórico procedentes del procesado de metales, aceites solubles, sosa cáustica diluida, soluciones amoniacales diluidas procedentes de procesos fotográficos, residuos de pintura acuosa, residuos adhesivos acuosos y etilenglicol. Todos éstos se acumulan antes de avanzar con el traslado o el almacenamiento.

Los residuos salientes producidos ascienden a 120 toneladas de combustible residual y 60 toneladas de materiales halogenados por año. La instalación manipula 120 toneladas de residuos de RIG llenados en el centro y otras 260 toneladas de residuos que llegan en RIG.

Tabla 3.11: Ejemplo de las emisiones totales estimadas que produce una estación de transferencia de residuos.
[56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003]

Emisiones procedentes de tratamientos de residuos específicos

Tratamientos de residuos específicos	Aire	Agua	Residuo
Triturador/ destructor de aerosoles	En algunos casos, se liberan propelentes al aire a través de los ventiladores de extracción.	Un balance de masas sugiere que las emisiones al agua podrían alcanzar las 250 t/año, pero no existen datos suficientes sobre el tonelaje de residuos líquidos producidos en la actualidad como para determinar un valor preciso.	Los líquidos procedentes de los procesos de trituración se recogen y rocían al vertedero adyacente.
	Entre los ingredientes activos y los disolventes transportadores se pueden incluir pinturas, diluyentes, alcoholes y posiblemente algunos pesticidas.		

Tratamientos de residuos específicos	Aire	Agua	Residuo
Tratamientos de recuperación de CFC	Los residuos de los combustibles contienen algunos CFC que se evaporan en el aire. Una pequeña emisión adicional se produce durante el muestreo ordinario.	Se pueden calcular los vertidos.	Los refrigerantes CFC se recuperan para reutilizarse y generan un pequeño flujo de residuos, que se envían para tratarse posteriormente. Una cantidad ínfima de desecante (contaminado con aceite) se envía al vertedero anualmente.
Almacenamiento y traslado de materiales	Residuos de COV, ácidos o amoníaco.		
Trituración del vidrio	Existen grandes problemas con las partículas, a pesar de la existencia de los ventiladores de extracción, y con el polvo que se asienta en los equipos, la instalación y el producto final. Los equipos de reducción de emisiones no son adecuados.		
Limpieza de PCB	Un programa de control normalmente cubre las emisiones de PCB al aire, las aguas superficiales y el terreno que rodea la instalación. El tricloroetileno (TCE) se destila in situ para su reutilización, y los lodos residuales se envían al vertedero.		
Limpieza de transformadores que contienen PCB	La descontaminación de los transformadores de PCB nunca se termina de aplicar completamente a todos los componentes, y esto implica que permanecen residuos que deben incinerarse. En el mejor de los casos éstos serán compuestos porosos (madera y papel), salvo que se aplique una técnica disolvente en largos intervalos del proceso, y se obtenga un producto que pueda enviarse al vertedero, siempre y cuando los valores de PCB sean legalmente aceptables. Existe un riesgo potencial de emisiones fugitivas de PCB mediante la formación de aerosoles.		

Tabla 3.12: Emisiones de tratamientos de residuos específicos . [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [100, PNUMA, 2000], [150, GTT, 2004]

3.1.4 Residuos salientes de tratamientos habituales de residuos

En función del modo de operación de la técnica de tratamiento, las propiedades físicas o químicas de los residuos pueden cambiar al aplicar las técnicas habituales. Se ha visto que algunas técnicas habituales (por ejemplo almacenamiento, aceptación, recepción) no modifican las propiedades físicas o químicas de los residuos entrantes. Sin embargo, otras como la licuefacción, mezclado, aplastamiento o trituración, sí cambian las propiedades de los residuos entrantes.

3.2 Emisiones y consumos de los tratamientos biológicos

[33, ETSU, 1998], [51, Inertec, et al., 2002], [54, Vrancken, et al., 2001], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [59, Hogg, et al., 2002], [66, GTT, 2003], [76, AEMA, 2003], [81, VDI y Dechema, 2002], [86, GTT, 2003], [113, COWI A/S, 2002], [138, Lanfranchi, 2003], [150, GTT, 2004]

En este apartado se estudian las emisiones y consumos de los tratamientos biológicos mencionados en el apartado 2.2. Los subapartados de este apartado 3.2 se estructuran del mismo modo que en el apartado 2.2, así los tratamientos siguen el siguiente orden: emisiones y consumos de la digestión anaerobia, tratamientos mecánico-biológicos y, por último, los tratamientos biológicos que se aplican al suelo contaminado. Las emisiones asociadas con un tratamiento auxiliar, por ejemplo funcionamiento de la estación de transferencia, se tratan en el apartado 3.1.

3.2.1 Residuos entrantes en los tratamientos biológicos

Normalmente, un biotratamiento es satisfactorio cuando los residuos no son tóxicos (aunque algunos microorganismos puedan aclimatarse en cierta medida a ciertos residuos), tengan un pH comprendido entre 4 y 8 y tengan una relación C:N:P de aproximadamente 100:5:1. El tratamiento biológico, si se prepara adecuadamente, puede ajustarse a una gran variedad de compuestos orgánicos que se encuentran en los residuos o en suelos contaminados.

Digestión anaerobia

La digestión anaerobia puede utilizarse para tratar directamente residuos líquidos o sólidos (por ejemplo residuos sólidos municipales) o para tratar lodos biológicos generados por una fase aerobia anterior. Existen muchas materias primas diferentes que pueden utilizarse en la digestión anaerobia. Entre éstas se incluyen los residuos de alimentos separados en origen, lodos (por ejemplo lodos residuales procedentes del tratamiento de residuos líquidos municipales), derivados agroindustriales, estiércol, lechadas, algunas fracciones de RSM y residuos de la zona de almacenaje.

La digestión anaerobia (DA) se ajusta mejor a los residuos con un elevado grado de humedad que la digestión aerobia. El proceso de la DA puede llevarse a cabo con un grado de humedad comprendido entre el 60 % y el 99 %. El contenido en humedad también es importante. Los valores bajos aumentan la inhibición del amonio del proceso de la DA y la toxicidad de sus sales. Por tanto, los desperdicios de la cocina y otros putrescibles, que en principio pueden tener un contenido en humedad demasiado alto y una estructura inadecuada para la digestión aerobia, pueden servir de materia prima excelente para la DA. Con frecuencia se añaden líquidos a los procesos de DA (en efluentes reciclados o acuosos) para conservar un alto contenido en humedad.

Las características de las materias primas pueden tener un efecto muy importante sobre los procesos de DA. Una materia prima de gran calidad aumentará la calidad del digestato. Las altas concentraciones de metales pesados en la materia prima pueden ser tóxicas para las bacterias metanogénicas, en el siguiente orden (de menor a mayor gravedad): hierro < cadmio < cinc < cromo < plomo < cobre < níquel. El grado de supervisión que el proceso necesita para evitar el efecto nocivo de la sobrecarga lo señala el contenido en sólidos volátiles.

El tipo de residuos que se aceptan en este tipo de tratamiento es, fundamentalmente, el residuo biodegradable separado en origen, puesto que deben recuperarse los nutrientes y la materia con la mínima contaminación posible. La conversión en compost de los desechos residuales o de las fracciones separadas de éstos es cada vez más infrecuente. De ahí que los tipos de residuos que normalmente se utilizan sean las fracciones orgánicas húmedas de los desperdicios de las cocinas y de los hoteles y restaurantes. Los desperdicios de jardines y parques, al igual que el papel y el cartón, normalmente no se procesan. Algunas de las fracciones de residuos excluidas son los metales, plásticos, vidrio y los residuos de animales, que no deben admitirse en las

instalaciones sin higienizar debido a la degradación de la lignina que requiere un compostaje posdigestión.

Existen dos alternativas principales para la separación de residuos. La elección de una o de otra tiene un gran efecto sobre la cualidad de las materias primas de la digestión anaerobia:

- separación en origen (no forma parte del objeto de este documento), que muchos Estados miembros fomentan activamente. Incluye la separación de la fracción orgánica putrescible (biorresiduo). Se acepta generalmente que la separación en origen proporciona la materia prima de mejor calidad para la DA y el compostaje, ya que ofrece un contenido orgánico máximo y una contaminación mínima con metales pesados, vidrios y plásticos. Tras la digestión de estos residuos separados en origen mediante un proceso fiable, el resultado final será la formación de un elevado volumen de biogás y de un digestato de calidad;
- separación centralizada, es la única vía para obtener una fracción digerible a partir de desechos residuales. Entre las técnicas empleadas se incluyen procesamientos mecánicos, ópticos y manuales. La fracción digerible obtenida suele estar más contaminada que los biorresiduos separados en origen, lo que tiene consecuencias inevitables para el uso final del digestato (existen algunas pruebas que indican que cuando se utiliza el pulpeado en una fase de separación anterior al proceso, la separación del líquido elimina más elementos peligrosos). Asimismo, existe el riesgo de arrastrar compuestos de mayor tamaño sin separar de los residuos, que causarían daños físicos a las instalaciones de tratamiento más adelante (mediante abrasión, bloqueos o enredos).

Tratamientos mecánico-biológicos

Este tratamiento puede aceptar los siguientes tipos de residuos: residuos municipales no separados en origen, lodos (por ejemplo lodos residuales procedentes de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales municipales) y residuos sólidos comerciales. Técnicamente no existen restricciones en el tratamiento de una fracción orgánica húmeda (por ejemplo desperdicios de cocina), residuos de parques y jardines, residuos orgánicos procedentes de hoteles y restaurantes o papel y cartón. Sin embargo, por regla general, estos últimos tipos de residuos no se tratan mediante estos tratamientos.

El contenido en humedad de los residuos admitidos es extremadamente variable, aunque se espera que los residuos caseros y verdes tengan un contenido de humedad de al menos un 40-50 %.

Tratamientos biológicos que se aplican a los suelos contaminados

Características	Intervalo deseado
Contenido orgánico	0,025 – 25 peso-%
Contenido sólido	10 – 40 peso-%
Contenido acuoso	60 – 90 peso-%
Tamaño de las partículas sólidas	<0,635 cm de diámetro
Temperatura de los materiales de entrada	15 – 35 °C
pH de los materiales de entrada	4,5 – 8,8

Tabla 3.13: Características deseadas del material de entrada en los procesos de biodegradación de lodos para descontaminar los suelos.

[30, Eklund, et al., 1997]

La efectividad de la biodegradación de lodos para determinados grupos contaminantes se muestra en la tabla 3.14.

Contaminante	Aplicabilidad
Contaminantes orgánicos:	
Semivolátiles halogenados	2
Semivolátiles no halogenados	2
Pesticidas	2
Volátiles halogenados	1
Volátiles no halogenados	1
Cianuros orgánicos	1
PCB	1
Dioxinas/furanos	0
Corrosivos orgánicos	0
Contaminantes inorgánicos:	
Cianuros inorgánicos	1
Amianto	0
Corrosivos inorgánicos	0
Metales no volátiles	0
Materiales radiactivos	0
Metales volátiles	0
Contaminantes reactivos:	
Oxidantes	0
Reductores	0
LEYENDA: 0 = no se espera que sea eficaz, la opinión de los expertos es que dicha tecnología no dará resultados satisfactorios. 1 = eficacia potencial, la opinión de los expertos es que dará resultados satisfactorios. 2 = eficacia demostrada, se ha realizado en cierta medida la prueba de viabilidad.	

Tabla 3.14: Aplicabilidad de la biodegradación de lodos para el tratamiento de contaminantes en suelos, sedimentos y fangos.
 [30, Eklund, et al., 1997]

3.2.2 Consumo de los tratamientos biológicos

Digestión anaerobia

Los consumos de un tratamiento mecánico-biológico (TMB) con separación y digestión anaerobia son normalmente: agua, materiales auxiliares y energía.

Agua

El consumo total de agua para tratar 1 tonelada de residuo es de 78 litros. Se emplea agua corriente o subterránea. El agua se consume en los siguientes pasos del proceso:

- producción de vapor: 22 litros por tonelada de residuo;
- producción de solución polimérica: 56 litros por tonelada de residuo.

Materiales auxiliares

Se utilizan los siguientes productos (traídos en camiones) como materiales auxiliares:

- floculantes poliméricos aniónicos (polvo de poliacrilamida): 60 gramos por tonelada de residuo;
- solución de cloruro de hierro (40 %-peso): 3 kilogramos por tonelada de residuo;
- productos antiespumantes (solución de polialquileno glicol en agua): 50 gramos por tonelada de residuo;

Energía

La única fuente de energía que se utiliza durante el funcionamiento normal de la instalación es la eléctrica, que puede generarse in situ, y la calorífica, que puede ser necesaria para los procesos de secado y para caldear los edificios. El uso de electricidad por tonelada de residuo es de 55 kWh_e. Esta electricidad puede generarse en la propia instalación mediante la combustión

de biogás en motor de biogás (rendimiento: 35 %). El consumo de biogás para la producción de electricidad es de 29,1 Nm³ de biogás con un 55 %-vol CH₄ (por ejemplo 37 kg). La producción de electricidad y el uso de energía se presentan en la tabla 3.15.

Tipo de energía	kWh por tonelada de RSM	Origen
Electricidad	50 – 55	Producción propia (motor de biogás)

Tabla 3.15: Consumo y producción de electricidad.
[54, Vrancken, et al., 2001], [59, Hogg, et al., 2002], [66, GTT, 2003]

Se necesita hasta un tercio del biogás producido para que el digester se caliente, puesto que dicho proceso requiere unas condiciones cálidas.

Las estimaciones sobre el uso de electricidad de la instalación varían mucho. En instalaciones de DA rurales, el funcionamiento de la instalación requiere aproximadamente el 20 % de la electricidad producida, mientras que las instalaciones urbanas pueden requerir 2/3 de la electricidad producida.

Tratamientos mecánico-biológicos

TMB	Índice de oxigenación (Nm ³ aire/[m ³ de residuo.h])
Túnel	40 – 60
Vertedero móvil predegradación	5 – 10
posdegradación	1 – 5
Vertedero	10

Tabla 3.16: Índices de oxigenación.
[132, UBA, 2003]

En los sistemas biológicos casi dinámicos, la mayor parte de los residuos orgánicos se degradan en las primeras cuatro semanas de degradación biológica. Durante este período, se precisan los índices de oxigenación más altos y se consume hasta un 60 o 70 % del suministro de aire total del vertedero. En el caso de que se produzcan interrupciones en el proceso de degradación prebiológica, la degradación biológica se aplaza a las últimas fases de la degradación biológica/campos de oxigenación. Esto también ocurre en los procesos estáticos sin producción. En el caso de fermentaciones anteriores, la degradación intensiva de los componentes orgánicos fácilmente degradables se produce en el fermentador cerrado. De este modo, las cantidades de gases de escape procedentes de los procesos de posdegradación son muy inferiores a las de los procesos de degradación totalmente aerobios.

Energía

Proceso aerobio	Electricidad (kWh/t)	Gasóleo (kJ/kg)
Digestión aerobia hermética	27 – 65 ²	5
Pilas	0	15
Intervalo ¹	4 – 72 ²	5 – 132 ³

¹ Se incluyen diferentes tipos de instalaciones con tratamientos de gas más o menos sofisticados y sin tratamientos de gas.
² El valor máximo del intervalo normalmente corresponde a procesos con una purificación avanzada de los gases de escape.
³ Los mayores consumos de gasóleo se asocian con bajos consumos de electricidad.

Tabla 3.17: Consumos específicos de energía de los procesos de digestión aerobia.
[59, Hogg, et al., 2002], [66, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

Agua

Las instalaciones de TMB a veces añaden agua a las pilas, ya que pierden humedad durante la digestión aerobia, lo que podría provocar un déficit de agua y detener el proceso de digestión aerobia. Esto normalmente ocurre durante los meses estivales e invernales.

En algunos casos, no hay un consumo de agua neta en el proceso. En el proceso de secado, se produce agua (350 litros —en forma de vapor— por tonelada de residuo). Durante la digestión aerobia, se alcanzan temperaturas de 50-60 °C. Así el agua que pierde la materia prima se convierte en vapor de agua (alrededor del 90 %), que normalmente se libera al aire. No obstante, en algunos casos, parte de esta agua se condensa. El tratamiento de este agua condensada es muy complejo. El agua de los residuos purificada se utiliza como agua para el proceso en el circuito de refrigeración, que se evapora en la torre de refrigeración. El agua corriente sólo se utiliza en la torre de refrigeración como agua de reposición (10 litros por tonelada de residuo). Dicho esto, otras fuentes señalan que el consumo de agua oscila entre los 260 y 470 litros por tonelada de residuos tratados.

Productos auxiliares

Como ya se ha indicado, no se utiliza ningún material auxiliar en el proceso, con excepción de las láminas de plástico empleadas para embalar el combustible residual sólido.

Tratamiento biológico de los suelos contaminados

La mayoría de las veces, los microorganismos utilizan los contaminantes orgánicos como fuente de carbono y de energía. Asimismo, la concentración de nutrientes como nitrógeno y fósforo debe ajustarse para permitir el crecimiento microbiano. Normalmente, se utiliza una sal de amonio como el NH_4Cl para añadir nitrógeno y un fosfato para añadir fósforo. Sin embargo, el crecimiento microbiano necesita de muchos otros elementos como las vitaminas y otros metales (Fe, Mg, Cu, etc.). Estos elementos pueden encontrarse de forma natural en el suelo, aunque a veces sea necesario enriquecerlo. Las relaciones de C/N/P a menudo se utilizan para determinar la cantidad total de nutrientes necesarios. De hecho, debe controlarse regularmente la concentración de nutrientes del suelo. Los suelos contaminados con frecuencia se mezclan con compost para optimizar el tratamiento biológico. Normalmente se añade entre un 10 % y un 30 % de compost, sin exceder nunca el 40 %. El agua también se usa a menudo para aumentar el contenido en humedad de los suelos.

Se añade oxígeno y nutrientes (N y P) al suelo contaminado para bioestimular la biodegradación. Al aumentar la flora de microorganismos con microorganismos específicos (por ejemplo bacterias y hongos), aumenta la biodegradabilidad de los contaminantes.

3.2.3 Emisiones de los tratamientos biológicos

Las emisiones específicas de los tratamientos biológicos dependen de:

1. los compuestos volátiles que contenga la materia prima,
2. la cantidad y el tipo de residuos que se esté tratando, y
3. el tipo de tratamiento.

Por ejemplo, es menos probable que los residuos procedentes de fuentes biológicas (como grasas y efluentes de la industria alimentaria) produzcan grandes volúmenes de emisiones. Así, por ejemplo las emisiones (volúmenes de CO₂, metano, N₂O, amoníaco, etc.) del tratamiento biológico de biorresiduos recogidos de forma selectiva (no son objeto de este documento) son comparables a las emisiones del tratamiento biológico de los RSM y lodos, con la excepción de algunos COV volátiles de los RSM (por ejemplo hidrocarburos clorados fluorados).

Los metales pesados del material original se mezclarán concienzudamente con el resto de material mediante procesos de disolución, extracción o simplemente reduciéndolos a pedazos durante la operación.

Una característica habitual del tratamiento biológico es que los metales pesados y otros componentes no biodegradables se diluyen mediante mezclado, disolución en fase acuosa y pasan a formar parte del cuerpo de los microorganismos al perder humedad, peso, etc. En general, los metales pesados no se separan de forma selectiva de los residuos y no se encuentran selectivamente concentrados en el material de salida.

Los compuestos químicos volátiles son los que con mayor frecuencia dan lugar a emisiones fugitivas gaseosas, junto con el amoníaco. Los residuos municipales tienden a producir metales en el efluente o lodos.

Digestión anaerobia

La figura 3.2 muestra las emisiones relevantes de los procesos de digestión anaerobios.



Figura 3.2: Representación esquemática de los materiales de entrada y de salida de una digestión anaerobia.

Nota: Las flechas marrones representan los materiales sólidos

Las flechas azules representan las emisiones

Las flechas verdes representan los residuos salientes con algún uso

[59, Hogg, et al., 2002], [150, GTT, 2004]

Emisiones gaseosas

Este proceso se realiza herméticamente y, por tanto, es muy improbable que se produzcan emisiones gaseosas, salvo durante los traslados al y del digester. Los sistemas anaerobios generan menos emisiones que los aerobios por kilogramo de residuo, puesto que la principal emisión gaseosa (metano) es un producto deseado. Sin embargo, las emisiones relacionadas con la entrega de residuos y el tratamiento mecánico pueden causar olores y polvo, y la digestión aerobia del digerido puede causar importantes problemas de olores si no se trata adecuadamente. Las emisiones generadas por la combustión del biogás son normalmente superiores a las generadas durante los procesos de producción del biogás.

Un simple balance de masas permitiría pensar que, si el material de entrada posee una humedad del 70 %, y si el contenido en sólidos volátiles del resto es del 80 %, entonces los residuos entrantes deben contener 240 kg de sólidos volátiles. La biomasa estabilizada sin cribar debe suponer el 40 % del peso inicial, del cual el 40 % sería humedad, y el resto tiene un 40 % de contenido en sólidos volátiles. Esto implica una pérdida de 144 kg de sólidos volátiles si el material de entrada posee una humedad del 70 %.

Como ya se ha indicado anteriormente, el proceso de digestión se realiza herméticamente, y por tanto es muy improbable que se produzcan emisiones gaseosas, salvo durante los traslados al y del digester. No obstante, pueden producirse emisiones fugitivas de biogás procedentes de las válvulas de ventilación de emergencia y de trampas de agua mal selladas. Esto puede dar lugar a una serie de peligros, entre los que se incluye el riesgo de incendio o explosión, además de toxicidad causada por gases contaminantes como el H₂S y los mercaptanos (que generan olor). También pueden producirse gases nitrogenados.

Las emisiones de partículas también son menores que en la digestión aerobia ya que el proceso se realiza herméticamente, aunque probablemente habrá algunas unidades de preparación de residuos que producirán mayores emisiones de partículas.

Componente	Concentración de las emisiones	Unidad	Emisión específica (g/tonelada de residuo)	Emisiones específicas (g/MJ de metano)
Gas de combustión				11.000 Nm ³ /t
Metano	Fugitiva	%-vol	0 – 411	0,1
CO ₂	31 – 35,2	%-vol	181.000 – 520.000	85
CO			72,3	0,25
NO _x			10 – 72,3	
NH ₃	Fugitiva			
N ₂ O			0	0,2
SO _x			2,5 – 30	0,15
H ₂ S	284 – 289	mg/Nm ³	0,033	
COT (COV)			0,0023	
P (por ejemplo bioaerosol)				
Olor	626	GE/Nm ³		
Cloroformo	2	µg/Nm ³		
Benceno	50 – 70	µg/Nm ³		
Tolueno	220 – 250	µg/Nm ³		
Etilbenceno	610 – 630	µg/Nm ³		
m+p+o xileno	290 – 360	µg/Nm ³		
HC halogenados y PCB			0,00073	
Dioxinas/furanos (EQT)			(0,4 – 4) · 10 ⁻⁸	
Cloruro total	1,5	µg/Nm ³		
HCl			0,011	
HF			0,0021	
Cd			9,4 · 10 ⁻⁷	
Cr			1,1 · 10 ⁻⁷	
Hg			6,9 · 10 ⁻⁷	
Pb			8,5 · 10 ⁻⁷	
Zn			1,3 · 10 ⁻⁷	

Fugitiva significa que se produjeron emisiones fugitivas de dichos componentes, aunque no se disponga de datos para cuantificarlas.

Tabla 3.18: Ejemplos de emisiones gaseosas procedentes de las instalaciones anaerobias. [33, ETSU, 1998], [54, Vrancken, et al., 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [59, Hogg, et al., 2002], [150, GTT, 2004]

Emisiones acuosas

A pesar de que los sistemas aerobios pueden funcionar en fases para reducir la DQO en el efluente, normalmente funcionan con el objeto de obtener una producción eficaz de metano, y de esta forma el efluente líquido tiende a estar más concentrado que el de los sistemas aerobios.

Las especies emitidas serán similares a las de los sistemas aerobios, pero el volumen de líquido es mucho mayor y, por tanto, se necesitarán medidas para calcular las emisiones de, por ejemplo, COT. La fracción acuosa puede verterse al alcantarillado o puede someterse a un tratamiento aerobio de aguas residuales antes de verterla. Los valores de COT, nitrógeno total, fósforo total y de cloro deben controlarse en el momento de la entrada y salida de la instalación para optimizar el rendimiento de ésta, ya que son probablemente los indicadores más importantes de dicho rendimiento.

Resulta improbable que dichas unidades que procesan residuos biológicos procedentes de la industria alimentaria o de la agricultura produzcan metales en sus emisiones líquidas. Además, el contenido metálico en un vertido puede ser inferior al equivalente para un sistema aerobio porque los compuestos metálicos precipitan y se van con la fracción sólida. No obstante, puede aparecer una pequeña cantidad en el efluente líquido en forma de sólidos en suspensión.

La cantidad de residuos o de agua en exceso que se genera depende de varios factores: grado de biodegradación, contenido en humedad de los residuos entrantes y el punto hasta el que se recircula el agua del proceso, el modo de uso del digestato —en algunos casos se aplica directamente a la tierra como fango— y el grado de uso del vapor para calentar la biomasa. La mayoría de los procesos pretenden extraer el agua en exceso del digestato antes de realizar la digestión aerobia de la biomasa restante. No obstante, en algunos países no se pretende hacer esto y el digestato se usa en la tierra como acondicionador de terrenos. Algunos estudios indican de 100 a 500 kg por tonelada de residuos (peso húmedo). Probablemente las aguas en exceso de los sistemas en seco estarán más contaminadas, ya que el agua recircula más que en los sistemas húmedos. Los valores para los sistemas húmedos y en seco se recogen en la tabla 3.19. Los valores de los sistemas húmedos y en seco de la tabla 3.19 hacen referencia al agua residual antes de eliminar los sólidos suspendidos. En la fase de postratamiento, el cuerpo líquido del digerido puede someterse a un proceso de desnitrificación, o puede filtrarse o alimentar un decantador; y los sólidos pueden añadirse al digerido y el agua en exceso verterse al alcantarillado.

Componentes	Unidades	Sistemas en seco	Sistemas húmedos	Cantidad (g) ¹
Flujo de aguas residuales	m ³ /t			0,47
DQO	mg O ₂ /l	20.000 – 40.000	6000 – 24.000	20 - 530
DBO	mg O ₂ /l	5000 – 10.000	2500 – 5000	
Amoniaco				1 – 160
Nitrato				1 – 10
N total	mg N/l	2000 – 4000	800 – 1200	
P total				
Cl				
Sulfato				1 – 5
As				
Cd				
Cr				
Cu				
Hg				
Ni				
Pb				
Zn				

¹ calculada en función de 261 litros de agua residual/tonelada de residuos (que probablemente se reduce a 211 mediante una reutilización parcial del agua empleada para producir una solución polimérica). Los valores del intervalo dependen del tipo de tratamiento de aguas residuales aplicado.

Tabla 3.19: Características típicas de las aguas residuales procedentes de la digestión anaerobia [59, Hogg, et al., 2002], [33, ETSU, 1998], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [66, GTT, 2003]

Materia y residuos digeridos

Con relación a la digestión anaerobia, normalmente se deshidratan los lodos o el digestato. El contenido en metales pesados puede filtrarse en el suelo o eliminarse en los cursos de agua si el digestato se usa como compost, recubrimiento de terrenos o se envía al vertedero. En el caso en el que el contenido en metales sea muy alto para permitir una aplicación en el terreno, el compost/lodo puede utilizarse para recubrimientos de uso diario en los vertederos. En este sentido, puede aplicarse la Directiva sobre aguas subterráneas.

Puesto que se generan lodos anaerobios en un ambiente reductor, dichos lodos pueden concentrar algunos componentes como sulfuros metálicos y algunos componentes orgánicos (por ejemplo, compuestos orgánicos intratables e insolubles). Los lodos procesados procedentes de RSM o lodos de alcantarillado con un aporte industrial tendrán un contenido en metales que se depositará en los lodos.

La masa de lodos generada en la planta de tratamiento de aguas residuales puede someterse a una purificación química posterior. Si no se lleva a cabo la purificación, la masa de lodos debe eliminarse de forma controlada o puede (co)incinerarse. Los residuos del lavado por arena probablemente no son apropiados para un tratamiento térmico, debido a su bajo poder calorífico y, por tanto, se eliminan de forma controlada.

Tratamientos mecánico-biológicos

La pérdida de peso durante el proceso aerobio corresponde aproximadamente al 10-20 % de la materia en seco de los residuos entrantes, que equivale a una pérdida del 30-40 % referida al peso total. No obstante, estos datos no diferencian entre pérdida de humedad y producción de dióxido de carbono. Es más probable que los sistemas aerobios que funcionan al aire libre produzcan una gran variedad de emisiones, puesto que resulta más difícil controlar la temperatura y la humedad del proceso. Existen muchas más probabilidades de que el material se sature y produzca una emisión líquida, y una mayor probabilidad de que el proceso se vuelva anaerobio y libere emisiones de metano.

Varias empresas codigieren flujos de residuos orgánicos peligrosos con residuos verdes o municipales y bajas concentraciones de compuestos orgánicos halogenados con residuos orgánicos acuosos. En ambos casos es razonable esperar que la biomasa se adapte a la nueva fuente de alimentación, pero también es razonable esperar que la temperatura aumente en el compostaje o que al agitar los depósitos en los sistemas de lodos activados se liberen al aire nuevas especies.

A diferencia de las instalaciones de compostaje que tratan residuos verdes y biorresiduos recogidos de forma selectiva, el material tratado en las instalaciones de TMB puede presentar una gran variedad de emisiones (residuos municipales). El gas de escape de los TMB puede contener hidrocarburos clorados fluorados, amoníaco, mercurio, metano, N₂O y otros componentes.

El gas de escape de los TMB se produce parcialmente durante el tratamiento mecánico, aunque sobre todo se relaciona con el proceso biológico por el que se libera calor. Según el proceso, pueden alcanzarse temperaturas que oscilan entre los 30 °C y los 90 °C. Así se desprende una gran parte de la humedad contenida en los residuos. Igualmente, pueden desprenderse los restos de disolvente y de hidratos de carbono de los aceites minerales. Cuando se somete a estas condiciones límite, el gas de escape de los TMB contiene al menos los siguientes grupos materiales:

- agua en forma de vapor de agua en el aire de escape del proceso saturado que no es probable que se encuentre por debajo del punto de saturación, salvo que se añada aire insaturado del pasillo;
- productos de degradación de la descomposición orgánica ya conocidos por la fermentación alcohólica, como la acetona, acetaldehído, etanol, metanol, butanol y otros compuestos de cadena corta;
- disolventes, sobre todo benceno, tolueno y xileno;
- terpenos aromáticos, sobre todo limoneno y alfa y beta pineno;
- trazas de hidratos de carbono de los aceites minerales.

Emisiones gaseosas

Existe una cantidad limitada de información sobre las emisiones que tienen lugar en las operaciones aerobias. Las emisiones de contaminantes aéreos y de sustancias olorosas en las instalaciones de TMB son:

- específicas de los residuos (tipo, composición, edad);
- específicas del tratamiento (degradación aerobia, fermentación);
- específicas del proceso (tipo de oxigenación);
- dependientes del tipo de funcionamiento;
- influenciadas por la meteorología (condiciones climáticas) en el caso de reactores abiertos.

Además de la emisión de sustancias olorosas en la entrega y durante el tratamiento mecánico, las emisiones de la instalación las producen fundamentalmente las siguientes fuentes:

- degradación aerobia;
- fermentación;
- tratamiento del gas/aire de escape.

Las emisiones de la degradación microbiológica están comprendidas entre los 30 y los 50 MJ por kg de sustancia orgánica en el residuo. Este calor produce el deseado autocalentamiento del material. El calor que excede la cantidad necesaria para mantener la temperatura del proceso se disipa mediante la evaporación del agua. El agua pues cumple con la importante misión de transportar el calor.

Capacidad del TMB kt/año	Parte de la instalación	Renovación del aire, temperatura ¹ , condiciones del proceso	COT (DIL)	Concentración del olor		Olor
			mg/m ³ y g/t respect.	espectro GE/m ³	media GE/m ³	10 ⁶ GE/h
30	Tratamiento mecánico y carbonera baja	Ventilación forzada, aprox. 2 renovaciones de aire, 5-10 °C durante la medida.	40 mg/m ³ 20 – 25 g/t	-	-	-
200	Tratamiento mecánico y carbonera baja	Ventilación forzada, aprox. 1,5 renovaciones de aire, 10-13 °C durante la medida.	15 – 25 mg/m ³ 25 – 55 g/t	150 - 630	390	38
30	Aire de escape total del TMB (2 semanas de degradación biológica)	Mezcla de aire de escape de los pasillos y el vertedero, aprox. 3 renovaciones de aire, 25-30 °C durante la medida.	60 – 130 mg/m ³ 500 – 720 g/t sin metano 10 – 30 mg/m ³ aprox. 700 g/t de metano			
50	Aire de escape total del TMB (16 semanas de degradación biológica)	Mezcla de aire de escape de los pasillos y el vertedero, aprox. 1 renovación de aire, 20-30 °C durante la medida.	700 – 880 g/t 200 – 700 mg/m ³ hasta 12.000 g/t de metano			
70	Aire de escape de la degradación biológica (fermentación con 8 semanas de degradación biológica)	Mezcla de aire de escape de los pasillos y el vertedero, aprox. una única renovación de aire, 25-30 °C durante la medida	50 – 180 mg/m ³ 590 – 720 g/t sin metano aprox. 80 mg/m ³ aprox. 1100 g/t de metano	8000 – 20.000	15.000	1200 al biofiltro

¹ Existen algunos sistemas (sistemas de aspiración de aire) en los que la temperatura puede alcanzar hasta los 40 °C.

Tabla 3.20: Ejemplos de parámetros aéreos de algunos TMB.
[132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

En la tabla 3.21 se muestran algunos datos sobre emisiones gaseosas en las operaciones aerobias.

Parámetros/ contaminantes	Emisiones al aire (valores en g/tonelada de digerido residual) ⁶
Flujo	Aire de escape: 2500 – 30.000 Nm ³ /t
Amoníaco ³	5 – 3700 Otros datos: 0,12 veces el tonelaje admitido ¹ 20 – 40 mg/Nm ³ ⁴
Dióxido de carbono	98 – 563 kg/tonelada de RSM 482 – 566 kg/tonelada de RSM si se incluyen la maquinaria y el sistema de energía y de construcción. Otros datos: 10 – 20 % del tonelaje admitido de residuos × 1000 20 % de los sólidos secos admitidos
N ₂ O	11 – 110
NO _x	100
Metano	411 – 2000
Partículas ²	163 – 186
P ₁₀ S	por ejemplo bioaerosoles
Olor	50 – 500 GE/m ³
COT (COV) ⁵	0,7 – 600
AOX	
CFC	
Dioxinas/furanos	0,1 ng/m ³
Microbios	
Mercurio	

¹ Se reduce el factor de emisión en un 50 % si el sistema emplea aire forzado u otro método para asegurar las condiciones aerobias a lo largo de todo el proceso; el factor de emisión aumenta si se reciben grandes volúmenes de residuos nitrogenados.

² Los sistemas de filtros en el aire de escape reducen las emisiones de partículas generales, pero no de P₁₀.

³ Si las condiciones del proceso del tratamiento cambian y el intervalo de PH no se encuentra entre 4 y 8 y la relación de C:N:P no es 100:5:1, entonces se producirán mayores cantidades de otros gases; y si existe demasiado nitrógeno en la materia prima, entonces prevalecerán sobre todo grandes cantidades de amoníaco.

⁴ Equivale a 545-1090 gramos por tonelada antes de reducir la emisión de amoníaco (por ejemplo mediante biofiltro).

⁵ El metano puede representar 1/6 de la cantidad de COT.

⁶ En algunos casos se presentan varios modos de cálculo o diferentes tipos de datos de emisión.

Tabla 3.21: Emisiones relevantes en las operación de los TMB [54, Vrancken, et al., 2001], [56, Babtie Group Ltd, 2002], [59, Hogg, et al., 2002], [66, GTT, 2003], [75, UNECE,], [81, VDI y Dechema, 2002], [132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

Emisiones amoniacaes

El nitrógeno contenido en los residuos puede convertirse fácilmente en amoníaco, y esto ocurre con mayor facilidad si la relación C:N no es la adecuada (demasiado nitrógeno), o si la masa se hace anóxica. En los residuos verdes, es más probable que esto ocurra durante los meses estivales que es cuando se encuentran más desechos de césped en los residuos y la materia leñosa resulta insuficiente como acumuladora. Los sistemas herméticos de biodegradación de digestión aerobia con una gran inyección de aire forzado que aporta un exceso de oxígeno producen menos amoníaco que las pilas estándar. El volumen de amoníaco del gas crudo de las instalaciones de TMB se encuentra entre los 10 y 560 mg/Nm³ según la variante del proceso, cantidad específica de aire de escape, etc. Si anteriormente hubo fermentación, pueden encontrarse valores de hasta 1000 mg/Nm³ en la degradación prebiológica. Además de su efecto contaminante del aire, una elevada concentración de amoníaco en el gas crudo daña los biofiltros que a menudo se emplean en las instalaciones de TMB. Por consiguiente, el objetivo es mantener los niveles de amoníaco del gas crudo antes de entrar en el biofiltro lo más bajos

posible. Los depuradores de ácidos de pH controlado anteriores mantienen de forma fiable las concentraciones de NH_3 por debajo de los 10 mg/Nm^3 .

Los centros llevan a cabo una serie de operaciones de cribado, tamizado, triturado y volteado. Las emisiones de *partículas* se producen, aunque no existen datos para cuantificarlas. Se sabe que la mayoría de las operaciones de digestión aerobia generan hongos, sobre todo del género *aspergillus*. La colocación de filtros para el aire de escape minimizará las emisiones de partículas. También es posible que se produzcan emisiones de P_{10} .

Bioaerosoles

Son microorganismos y otras partículas biológicas diminutas que se encuentran suspendidas en el aire. Son respirables y normalmente invisibles. Los procesos aerobios pueden producir bioaerosoles. Los estudios realizados prestaron especial atención al hongo *Aspergillus fumigatus*. Éste ha sido encontrado en todo el mundo, sobre todo en suelos y residuos forestales. Se asocia particularmente con el proceso de digestión aerobia, ya que puede degradar la celulosa (un carbohidrato que se encuentra en la materia vegetal) y sobrevivir a altas temperaturas (hasta de 65°C). El *Aspergillus fumigatus* produce pequeñas esporas durante su ciclo de vida.

Emisiones de olores

Puede que procedan de condiciones anaerobias. Los olores proceden de la superficie de las pilas abiertas, de maduración, de almacenamiento y de materias primas. Los gases de escape de los sistemas de oxigenación controlada también contienen compuestos olorosos. Normalmente entre los compuestos olorosos más problemáticos en las instalaciones para la digestión aerobia se incluyen el amoníaco, sulfuro de hidrógeno, mercaptanos, y sulfuros básicos como el dimetil sulfuro, dimetil disulfuro y terpenos. Estos compuestos ya se encuentran en muchas materias primas o se forman durante el proceso mediante actividades aerobias o anaerobias.

Algunos pesticidas

Pueden descomponerse mediante fotólisis, metabolismo vegetal o acción microbiana. Otros son persistentes.

Metano

El metano también puede convertirse en un problema, a pesar de que la instalación normalmente funciona de forma que su producción quede minimizada. Las emisiones de metano pueden oscilar entre los 10 y 2000 mg/Nm^3 .

COV

Algunos compuestos volátiles de la materia prima tienden a liberarse al aire debido al aumento de temperatura. El gas crudo de las instalaciones de TMB contiene una gran cantidad de componentes orgánicos únicos en concentraciones relativamente grandes pero fluctuantes. La concentración de COT (carbono orgánico total) que registra el contenido en materia orgánica es un parámetro adecuado para llevar un control. El gas crudo del TMB contiene concentraciones de COT que oscilan entre los 10 y 2000 mg/Nm^3 , aunque se han registrado concentraciones de hasta 7500 mg/Nm^3 . Las pilas al aire libre presentan concentraciones de COT superiores a los 1000 mg/m^3 debido a las condiciones anaerobias que indefectiblemente se producen en sus núcleos. Se han registrado concentraciones de carbono superiores a los 10.000 mg/Nm^3 en la superficie de las pilas al aire libre sin airear, sobre todo en condiciones anaerobias en su interior. La mayor liberación de COT tiene lugar durante la primera fase de degradación biológica en caliente, por ejemplo, en la primera o segunda semana de la degradación biológica. La tabla 3.22 muestra una lista con los compuestos orgánicos que se han identificado en los TMB.

Alcanos		
1,1-dimetilciclopentano	4-metilnonano	n-dodecano
1,3-dimetilciclohexano	5 alcano ramificado	n-heptano
1,4-dimetilciclohexano	5-metilundecano	n-hexano
10 alcano ramificado	6 alquilciclohexano	n-nonano
11 alcano ramificado	butilciclohexano	n-pentadecano
2 octano ramificado	2 C_3 -ciclohexano	n-pentano

2 undecano ramificado	C ₄ -ciclohexano	n-tetradecano
2,3-dimetilpentano	ciclohexano	n-tridecano
2,4-difenil-4-metil-2-penteno	decano	n-undecano
2-metildecano	dimetilciclohexano	nonadecano
2-metilheptano	dodecano	propilciclohexano
2-metilhexano	etilciclohexano	tridecano
2-metilnonano	etilciclopentano	trimetilbenzol
2-metilundecano	hexadecano	trimetilciclohexano
3-metildecano	metilciclopentano	undecano
3-metilheptano	metilbutano	3 heptano ramificado
3-metilhexano	metilciclohexano	7 nonano ramificado
3-metilnonano	metiloctano	2 octano ramificado
4-metilheptano	n-decano	dodecano ramificado
HAP		
1,2,3,4-tetrahidrometil-naftalina	naftalina	acenafteno
1,2,3,4-tetrahidronaftalina (tetralina)	dimetilnaftalina	metildecalina
etilnaftalina (vinilnaftalina)	1-metilnaftalina	2 -metilnaftalina
decahidrometil- naftalina	metiltetralina	
Ácidos y ésteres		
ácido 2-butenico etil éster	ácido butírico metil éster	hexanal
ácido 2-metilbutírico etil éster	2 éster del ácido carbónico	ácido hexánoico etil éster
ácido 3-metilbutírico etil éster	6 ácido carbónico	ácido graso etil éster
ácido alcanico etil éster	ácido acético	ácido mirístico isopropilester
ácido alcánoico etil éster (ácido >c ₇)	2 ácido alcanico	ácido pentanoico etil éster
ácido acético-1-metiletiléster	ácido acético alquil éster	ácido propanoico etil éster
ácido benzoico	ácido acético butil éster	ácido propanoico metil éster
ácido benzoico bencil éster	ácido acético etil éster	ácido tetradecanoico
ácido butírico	ácido acético metil éster	ácido hexadecanoico
ácido butírico etil éster		
Terpeno		
α-pineno	β-pineno	β-mirceno
pineno	D-limoneno	3-careno
mirceno	alcanfor	
Aldehídos/cetonas		
1,2-difeniletanona	3-buten-2-ona	hexanal
2,3-butandiona	3-hidroxi-2-butanona	metil-2-butanona
5 2-alcanona	3-pentanona	metilisobutilcetona
2-butanona	acetaldehído	nonanal
2-heptanona	acetona	octanol
2-hexanona	acetofenona	pentanal
2-metilpropanal	decanal	2-heptanona ramificada
2-pentanona	difeniletandiona	dodecanal
2-undecanona		
Alcoholes		
1-butanol	2-metil-1-propanol	isopropanol
1-pentanol	2-metilbutanol	alcanol
2-butanol	3-Metil-1-butanol	pentanol ramificado
2-etil-1-hexanol	butanol	etanol
2-metil-1-butanol		
Bencenos/alquilbencenos		
benceno	2 C ₆ -benceno	metilpropilbenceno
5 C ₃ -benceno	3-dimetiletilbenceno	propilbenceno
C ₄ -benceno	etilbenceno	estirolo
1-metilpropilbenceno	etilmetilbenceno	tolueno
15 C ₄ -benceno	o/m/p-xileno	3-trimetilbenceno
7 C ₅ -benceno	metilisopropilbenceno	
Compuestos halógenos		
1,1,1-tricloreto	diclorometano	tetraclorotileno

diclorobenceno	fluoretileno	tricloretieno
Compuestos de azufre		
2-butantiol	dimetilsulfuro	dióxido de azufre
dimetildisulfuro	metanotiol	disulfuro de carbono
Siloxanos		
ciclohexasiloxano	ciclotetrasiloxano	ciclosiloxano
ciclopentasiloxano	hexametildisiloxano	siloxano
octametilciclotetra-disiloxano		
Ftalatos		
dietilftalato	dimetilftalato	
Éteres		
tetrahidrofurano		

Tabla 3.22: Compuestos orgánicos identificados por cuatro análisis de los gases de escape (tres pruebas aerobias con degradación intensiva y posbiológica, y una en la instalación anaerobia). [132, UBA, 2003]

Clorofluorocarbono (CFC)

Los escasos datos de los que se disponen apuntan a que en las instalaciones de TMB se liberan cantidades de CFC superiores a 10 gramos por tonelada de material de entrada según el tipo de residuo procesado (tabla 3.23). Las principales sustancias son los CFC R11 (triclorofluorometano) y R12 (diclorofluorometano) que se utilizaban frecuentemente en el pasado.

Parámetro (g/tonelada)	Instalación A (aire de escape del túnel)	Instalación B (aire de escape procedente del tambor tamizador de la degradación biológica)	Instalación B (aire de escape procedente del tambor tamizador de la degradación biológica)	Instalación A (aire de escape procedente de los pasillos)	Instalación B (aire de escape procedente del módulo de degradación biológica)
ensayo en primavera	invierno	verano	invierno	verano	(estimado)
R11	n.d.	8,5	4,1	0,4	2,2 – 2,3
R12	n.d.	11,3	0,2	0,4	1,3 – 1,4
R21	n.d.	n.d.	-	n.d.	n.d.
R113	n.d.	n.d.	<0,05	n.d.	1,9
R114	n.d.	n.d.	0,2	0,4	1,2 – 1,4

n.d. = no detectable

Tabla 3.23: Emisiones de CFC procedentes de los TMB (gas crudo) [132, UBA, 2003]

Agua residual

Resulta improbable que los centros produzcan líquido en exceso ya que el proceso de digestión aerobia desprende grandes volúmenes de agua al aire y normalmente necesita líquido adicional para equilibrar. Aunque si lo producen, serán flujos intermitentes ocasionales. Se sabe que algunos centros han tenido problemas con el agua residual, no obstante las cantidades de emisiones líquidas normalmente son pequeñas, puesto que la digestión aerobia es un proceso exotérmico.

Parámetro acuoso	Emisiones específicas (kg/tonelada de RSM)	Concentración del agua residual (mg/l)
Flujo de agua residual	260 – 470	
COT		40
DQO	0,457	120 – 200
DBO ₅		20 – 25
HC		10 – 20
BTEX		0,1
AOX		0,5
Cloruro	0,152	
N total		70
P total		1 – 3
CN	$7,28 \cdot 10^{-5}$	0,2
Sulfuro		0,1 – 1
Cd	0	
Cr	0	0,5
Cr (VI)		0,1
Cu	0	
Hg	0	
Mg	0	
Ni	$7,94 \cdot 10^{-4}$	
Pb	$5,96 \cdot 10^{-4}$	
Zn	$2,38 \cdot 10^{-4}$	
Es normal que aparezca cobre y cinc en el lixiviado de la digestión aerobia puesto que son micronutrientes vegetales. Existe la posibilidad de encontrar metales tóxicos en el efluente aunque la mayoría de éstos permanecerán en el producto de la digestión aerobia.		

Tabla 3.24: Lixiviado de la digestión aerobia.

[54, Vrancken, et al., 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [59, Hogg, et al., 2002], [66, GTT, 2003], [75, UNECE,], [81, VDI y Dechema, 2002], [132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

Emisiones al terreno

Los centros en donde se realiza la digestión aerobia deberían comprobar si se producen, o no, emisiones líquidas al terreno, incluso si tienen una base de hormigón debajo de las pilas, ya que dicha base puede que sea discontinua y parte de la operación se realice sobre una superficie permeable. Si la base es impermeable, se producirá un vertido a las aguas superficiales o al alcantarillado o lo recogerán los sumideros. Si dichos centros se encuentran en el vertedero, las emisiones líquidas irán a la instalación de tratamiento del vertedero.

También existe un posible problema cuando el agua pluvial que cae en exceso sobre las pilas no se evapora por el calor del proceso de digestión aerobia. El agua en exceso recogerá los ácidos grasos, así como los sólidos y ácidos húmicos del proceso de digestión aerobia y los transferirá al suelo, aguas superficiales o alcantarillado.

Los lodos o digestatos que van a ser vertidos de forma controlada, normalmente tienen compuestos orgánicos, nitrogenados y fosfóricos, además de cloruro y cromo.

Tratamientos biológicos que se aplican a los suelos contaminados

Emisión gaseosa producida por una biodegradación ex situ

Existen muy pocos datos sobre las pérdidas volátiles en los procesos de biorremediación ex situ. En la tabla 3.25 se resumen los datos de biopilas y reactores. A pesar de que los datos son escasos, la volatilización no parece ser la principal responsable de la eliminación de hidrocarburos en estos procesos.

Contaminantes	Tasa de emisión	Emisiones totales	Biodegradación/volatilización	Notas
<i>Biorremediación en fase lechada</i>				
Creosota	0,07 – 6,3 g HC/h	n.d.	n.d.	La concentración más alta del efluente gaseoso se alcanzó el 1.º día y disminuyó hasta cerca de los valores iniciales el 5.º día.
Lodo de petróleo	n.d.	910 kg HC	n.d.	Se trataron 425.000 kg de tierra. Las emisiones se redujeron a un nivel de fondo en el 6.º día.
Lodo de petróleo	n.d.	10-20 kg/año; 1,5 kg dragados de un depósito de almacenamiento de 30 kg; acumulación de 4 kg	n.d.	Se cree que un sistema de envergadura emite desde 500 a 2000 kg de COV.
<i>Biopila</i>				
Gasolina	n.d.	n.d.	99 %/1 %	Emisiones gaseosas medidas de los procesos de almacenamiento/manipulación, mezclado y curado. La mezcla de componentes suma el 96 % de los contaminantes perdidos. El 73 % de los COV perdidos quedaron atrapados en los filtros de carbono.
Petróleo	0,01 kg/h de HC una vez concluido; 0,03 kg/h de HC después del tratamiento (carbono)	n.d.	n.d.	El efluente gaseoso también se recicló en las biopilas para seguir reduciendo las emisiones.
Petróleo	16 ppb de BTEX al comienzo; 5 ppb de BTEX (al octavo día); <1 ppb de BTEX (35.º día);	n.d.	>99 %/<1 %	
HC: Total de hidrocarburos				

Tabla 3.25: Resumen de los datos sobre emisiones de los sistemas de biorremediación ex situ [30, Eklund, et al., 1997]

En lagunas al descubierto y en procesos de tratamiento de tierras y de digestión aerobia, los principales factores ambientales que influyen sobre las emisiones gaseosas, además de la biodegradabilidad y volatilidad de los residuos, son la temperatura del proceso y la velocidad del viento. Las emisiones tienden a aumentar conforme aumentan las turbulencias en la superficie provocadas por una agitación mecánica o eólica. La temperatura afecta a las emisiones al influir sobre el crecimiento microbiano. Cuando las temperaturas se encuentran fuera de los límites óptimos para la actividad microbiana, aumenta la volatilización. Las emisiones de los reactores también las determinan los parámetros de diseño del reactor, como la cantidad de aire o de oxígeno empleado para airear los lodos. Cuanto mayores sean los flujos de gas, más sustancias volátiles se arrancarán de la solución y más aumentarán las emisiones gaseosas.

3.2.4 Residuos salientes de los tratamientos biológicos

La estructura de este capítulo corresponde a la del capítulo 2.2 y describe los residuos (o productos) generados por los tratamientos biológicos de los residuos (los residuos salientes, según la definición que aparece en la tabla 3.1).

Digestión anaerobia

En la tabla 3.26 se ofrece una descripción general de los residuos salientes previstos (según la entrada de RSM separados en origen).

Fracciones adecuadas para la recuperación de energía	Cantidades específicas (kg por tonelada de RSM)	Poder calorífico (MJ/kg)	
		Inferior	Superior
Biogás ¹	117,5 (75 – 364 Nm ³)	15,4	16,8
Residuo ligero	37,3	12,4	21,5
CDR	257,2	17	25,8
Fracción leñosa	14	4,9	10,0

¹ Este bajo rendimiento se explica por el elevado contenido de material no degradable (arena). Los rendimientos podrán variar en función de las estaciones (los mayores rendimientos se obtienen en otoño/invierno).

Tabla 3.26: Residuos salientes previstos (según una composición normal de los residuos) de la instalación

[54, Vrancken, et al., 2001], [59, Hogg, et al., 2002]

Biogás

En el biogás existen otros constituyentes en pequeñas concentraciones, entre los que se incluyen el monóxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno. Una mayor proporción de sustancias inorgánicas y contaminantes en el proceso darán lugar a cantidades más pequeñas de un biogás «más sucio». Los constituyentes del biogás (aparte del dióxido de carbono y el metano) pueden ser muy importantes para su uso final. La tabla 3.27 muestra la composición típica de un biogás generado por digestión anaerobia.

Componente	Concentración de biogás (%-vol)	Producción específica (g/tonelada de residuo)	Emisiones específicas (g/MJ de metano)
CO ₂	25 – 50	181.000 – 520.000	85
Metano	50 – 75	0 – 411	0,1
Agua (biogás)	6 – 6,5		
O ₂	0,9 – 1,1		
N ₂	3,9 – 4,1		
H ₂			
H ₂ S	<0,1 – 0,8		
Amoníaco	<0,1 – 1		
Mercaptano	en esporas		
Pequeñas moléculas de ácidos grasos			
Moléculas grandes de sustancias	trazas		

Tabla 3.27: Composición del biogás generado por digestión anaerobia.

[33, ETSU, 1998], [54, Vrancken, et al., 2001], [56, Babtie Group Ltd, 2002], [59, Hogg, et al., 2002], [132, UBA, 2003]

El biogás puede utilizarse parcialmente para producir energía o calor (por ejemplo, electricidad, calefacción de edificios, vehículos impulsados por biogás) mediante su combustión en motores de biogás. Cuando el biogás se utiliza para generar energía, se puede generar desde 20 hasta cerca de 300 kWh de energía neta por tonelada de residuo. En la tabla 3.28 se recogen varias referencias.

Estudio/proceso	Producción neta de energía (kWh/tonelada de residuo)		
	Mínimo*	Media*	Máximo*
AN-Anaerob	38	49	60
DBA	45	53	60
Kompo	85	88	90
NOVEM	21	88	154
Plaunener-Verfahren	85	98	110
Waterman BBT		100	
DHV study		102	
White et al		110	
Prethane-Biopaq	80	110	140
IEA Bioenergy	75	113	150
BTA	100	115	130
Dranco	105	131	157
Vrancken		140	
WAASA	120	145	170
IWM	100	150	200
Schwarting-UHDE		154	
D.U.T	254	273	292

* Si sólo se indica un valor de producción es porque el estudio/proceso en cuestión no ofreció un intervalo de valores.

Tabla 3.28: Valores de la producción neta de energía a partir de diferentes fuentes. [59, Hogg, et al., 2002], [54, Vrancken, et al., 2001], [150, GTT, 2004]

Combustible residual sólido para usar como combustible

Si desea más información sobre este asunto, consulte el apartado 3.5.4.1. El combustible sólido preparado es una mezcla preseleccionada de papeles y plásticos. El lavado del producto de la digestión da lugar a dos flujos adicionales: un residuo y una fracción leñosa, con un poder calorífico residual que posibilita el tratamiento térmico. Los tres flujos añadidos suman 308,5 kg de mezcla de combustible sólido para una valorización térmica. La mezcla de combustible sólido tiene un poder calorífico inferior a los 16,5 MJ/kg y un contenido en sólidos secos del 66 %.

Tipo de residuo	%
Residuo orgánico	45
Otros	31
Papel/cartón	13
Plásticos	9
Textil	2

Tabla 3.29: Composición del preparado de residuo sólido. [54, Vrancken, et al., 2001], [150, GTT, 2004]

Digestato La cantidad de digestato generado oscila entre los 100 y 500 kilogramos por tonelada de residuo de entrada. Esta amplitud se debe a una ampliación de la biodegradación, al contenido de humedad del residuo de entrada, a la ampliación de la recirculación del agua del proceso, al modo de uso del digestato y al grado de uso del vapor para calentar la biomasa. La variación de la composición se muestra en la tabla 3.30.

Materia prima	Unidades	N	P	K	Mg	Ca
Biorresiduo/CDR	% de TS	1,2	0,68	0,74		0
RSM sep. en origen	% de MS	1,90	0,66	0,63	-	-
RSM sep. en origen	ppm	20,0	11,9	14,7	11,6	49,7
RSM sep. en origen	ppm	11	8	10	-	-
Fracción orgánica de RSM	ppm	1 – 1,3	6 – 12	8 – 12	17 – 26	60 – 110
Frutas/verduras del mercado	ppm	21,9	9,5	10,5	4,7	-
RSM sin clasificar	ppm	11	8	10	-	-
RSM sin clasificar	ppm	19	13	15	3,67	-

Tabla 3.30: Características químicas del digestato anaerobio.
[59, Hogg, et al., 2002], [150, GTT, 2004]

Otros residuos/productos

Producto valorizado	Producción específica (toneladas por tonelada de residuo tratado)
Valorización de nutrientes	4,0 – 4,5 kg N/tonelada 0,5 – 1 kg P/tonelada 2,5 – 3 kg K/tonelada
Valorización de energía	0,4-0,9 MJ de electricidad por tonelada de residuo. Además las instalaciones de C también pueden generar una cantidad similar de calor.
Total de sólidos residuales que dependen del residuo	0,3 – 0,6
Productos de calidad para el reciclaje (recuperación)	Fibras (0,07-0,3) (para compostaje)
Otros posibles residuos para reutilizar con restricciones.	Fluidos (0,6) Inertes (0,05) Arena (0,08)
Residuos para vertidos de forma controlada u otro tratamiento de residuos.	Tamizado excedente (0,02-0,1)
Metales (con metales ferrosos)	0,043
Metales ferrosos	0,032
La separación y el lavado del material digerido producen fracciones de materiales inertes, arena y una fracción fibrosa. Los materiales inertes y la fracción de arena pueden utilizarse como material de construcción. A la fracción fibrosa le corresponde otra salida.	

Tabla 3.31: Perspectiva general sobre la tecnología anaerobia para el tratamiento de residuos municipales biodegradables.
[59, Hogg, et al., 2002], [54, Vrancken, et al., 2001]

Tratamientos mecánico-biológicos

Los tratamientos aerobios reducen el número de toneladas de los materiales de entrada mediante la conversión de parte de la biomasa en dióxido de carbono y agua por la acción de los microorganismos.

Fracciones adecuadas para la valorización de energía	Cantidad específica (kg por tonelada de RSM)	Poder calorífico (MJ/kg)	
		inferior	superior
CDR	300 – 460	16,6	19,9
Fracciones inapropiadas para la valorización de energía		Destino y propiedades	
Ferrosa	32 – 40: 24 ferrosa 1 8 ferrosa 2	Comercio de chatarra (2 fracciones) Preseparación Postseparación	
Inertes	48,6 <40 vidrio	Se vuelve a usar	
No ferrosa	8 – 10	Se recupera	
Material rico en compuestos orgánicos (al tratamiento biológico)	550 - Pérdidas del proceso 200 - Residuo tratado para el vertido controlado 350	COT 18 peso-% Poder calorífico máximo de 6 MJ/kg Densidad >1,5 t/m ³ (húmedo) Conductividad hidráulica $k_f < 10^{-8}$ m/s	

Tabla 3.32: Residuos salientes del TMB
[54, Vrancken, et al., 2001], [59, Hogg, et al., 2002], [81, VDI y Dechema, 2002]

Compost gris

Es previsible encontrar cobre y cinc en cualquier compost, puesto que son micronutrientes vegetales. Otros metales pesados se asociarán sólo con digestiones aerobias completas, o por la adición de flujos de residuos peligrosos. En general, los metales se retendrán en la fracción sólida. Los metales se bioacumularán en la fracción de compost. En la tabla 3.33 se muestran algunos productos recuperados por este tratamiento.

Producto valorizado	Valor (toneladas/tonelada de residuo tratado)
Valorización de nutrientes	2,5 – 10 kg N/tonelada de biorresiduo valorizado 0,5 – 1 kg P/tonelada de biorresiduo valorizado 1 – 2 kg K/tonelada de biorresiduo valorizado
Valorización de energía	Probable (por ejemplo mediante los procesos de estabilización en seco/separación para fabricar CDR). Según la configuración, la producción de CDR es de (valores típicos) entre 0,2 y 0,5 toneladas, con un poder calorífico de aproximadamente 15-20 MJ/kg (a veces superior). Asimismo, en algunas configuraciones, los procesos de digestión pueden valorizar energía de la degradación de la fracción biodegradable (puede ser >100 kWh según la composición).
Sólidos totales residuales que dependen del residuo (toneladas/toneladas de residuo)	0,7 – 0,9
Productos de calidad para el reciclaje (valorización)	Metales (0,05)
Otros posibles residuos para reutilizar con restricciones	CDR (0,3 – 0,4) Fracción orgánica estabilizada (0,07 – 0,2) ▪ Actividad respiratoria (AT ₄): <5 – 7 mg O ₂ /g TS ▪ Formación de gas: GB21 <20 mg/g TS
Residuos para vertidos de forma controlada u otro tratamiento de residuos.	Desechos ligeros y pesados (0,2 – 0,4)

Tabla 3.33: Perspectiva general sobre los materiales de salida del TMB para el tratamiento de residuos municipales biodegradables.
[59, Hogg, et al., 2002], [150, GTT, 2004]

Las características del producto digerido aerobio son las siguientes: un kilogramo de residuo tratado puede liberar un total de entre 1 – 3 g de DQO, 0,5 – 1,5 g de COT, y 0,1 – 0,2 g de NH₄-N en los lixiviados. Los valores reales dependen claramente de la correspondiente intensidad y de la duración del tratamiento. La tabla 3.34 muestra las emisiones potenciales del compost gris por gas y lixiviado.

Potencial emisión		Unidad	RSM sin tratar	RSM por TMB
Por gas: carbono		litro/kg de materia seca	134 – 233	12 – 50
		g C _{org} /kg de materia seca	71,7 – 124,7	6,4 – 26,8
Por lixiviado:	COT	g/kg de materia seca	8 – 16	0,3 – 3,3
	N	g/kg de materia seca	4 – 6	0,6 – 2,4
	Cl	g/kg de materia seca	4 – 5	4 – 6

Nota: los valores mínimos reflejan el grado de estabilización logrado por los TMB modernos.

Tabla 3.34: Cantidades transferidas de carbono, nitrógeno y cloro por gas y lixiviado. [81, VDI y Dechema, 2002]

Tratamientos biológicos que se aplican a los suelos contaminados

Compuesto	Concentración inicial		Concentración final		Eliminación ^(a)	
	Sólidos (mg/kg)	Lodos (mg/kg)	Sólidos (mg/kg)	Lodos (mg/kg)	Sólidos (%)	Lodos (%)
Fenol	14,6	1,4	0,7	<0,1	95,2	92,8
Pentaclorofenol	687	64	12,3	0,8	98,2	92,8
Naftaleno	3670	343	23	1,6	99,3	99,5
Fenantreno y antraceno	30.700	2870	200	13,7	99,3	99,5
Fluoranteno	5470	511	67	4,6	98,8	99,1
Carbazol	1490	139	4,9	0,3	99,7	99,8

Nota: el tratamiento se realizó en un reactor de 190 m³.
(a) Incluye el efecto combinado de volatilización y biodegradación.

Tabla 3.35: Rendimiento de una biodegradación de lodos para tratar residuos que contienen madera. [30, Eklund, et al., 1997]

3.3 Emisiones y consumos de los tratamientos físico-químicos

[30, Eklund, et al., 1997], [51, Inertec, et al., 2002], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [89, Alemania, 2003], [94, USA DoE, 2002], [99, Fons-Esteve, et al., 2002], [100, PNUMA, 2000], [101, Greenpeace, 1998], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [123, Perseo, 2003], [134, UBA, 2003], [147, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004], [154, PNUMA, 2004], [156, VROM, 2004], [157, UBA, 2004]

Este apartado contiene las emisiones y consumos de los tratamientos físico-químicos tratados en el apartado 2.3. Los procesos de tratamiento químico abarcan una amplia serie de operaciones unitarias y una amplia gama de residuos. Este apartado también concierne a las instalaciones de tratamiento químico que ponen en funcionamiento procesos de neutralización. En los apartados siguientes se señalan datos para los operadores de los centros tomados por sus actuales sistemas de registro y las zonas en donde es probable que se produzcan emisiones. La mayoría de los centros tienen una base totalmente hermética en la que todos los líquidos entrantes o generados en el centro (incluido el agua pluvial) vuelven al proceso. Este sector es muy variado, pero también uno de los mejor controlados, tal y como se pudo comprobar durante las visitas a los centros.

La estructura de los siguientes subapartados es la misma que la seguida en el apartado 2.3. Las emisiones asociadas con un tratamiento auxiliar, por ejemplo, funcionamiento de la central de traslado, se tratan en el apartado 3.1.

3.3.1 Residuos entrantes en los tratamientos físico-químicos

Aguas residuales

Las aguas residuales tratadas mediante tratamientos físico-químicos son:

- los flujos de los residuos esenciales, éstos son ácidos inorgánicos y bases y las aguas de sus enjuagues, junto con los residuos de la limpieza, lavado e interceptor procedentes de diversos procesos;
- residuos de la industria química, entre éstos se incluyen flujos glicol/alcohol acuosos y aguas de lavado de los procesos;
- (probablemente) residuos de limpieza con bajos niveles de compuestos clorados como el diclorometano o compuestos fenólicos. Las aguas de limpieza procedentes de la industria alimentaria también pueden contener dichas sustancias;
- residuos acuosos que contienen disolventes;
- residuos con un alto grado de nitrógeno (riesgo de emisiones amoniacales);
- residuos con contenido fosfórico;
- residuos inorgánicos ocasionales: por ejemplo, residuos con contenido arsénico;
- residuos cianúricos, que normalmente estarán compuestos por sales de cianuro sólidas o líquidas, por ejemplo, cianuro de sodio procedente de los tratamientos de los metales superficiales. También pueden estar presentes en residuos de impresión, normalmente en forma de cianuro de plata. Entre los ejemplos de soluciones de cianuro para la fabricación de chapas se incluyen los cianuros de cobre, cinc y cadmio;
- entre los residuos del revelador fotográfico normalmente se incluye una solución con un elevado porcentaje en sales de amonio, sobre todo tiosulfato;
- aguas residuales procedentes de moldeados, residuos de aceites y de combustibles líquidos, procesos químicos orgánicos y procesos de desengrase al vapor y agua.

En la tabla 3.36 se muestran las principales fuentes de residuos tratables en las instalaciones de tratamiento físico-químico, sin entrar en detalles ni en casos particulares.

Capítulo de la LER	Título	Lista europea de residuos
06	Residuos de procesos químicos inorgánicos	0601 Residuos de la fabricación, formulación, distribución y utilización [FFDU] de ácidos. 0602 Residuos de la FFDU de bases. 0603 Residuos de la FFDU de sales y sus soluciones. 0604 Residuos que contienen metales. 0605 lodos del tratamiento in situ de efluentes.
07	Residuos de procesos químicos orgánicos	0701 Residuos de la fabricación, formulación, distribución y utilización [FFDU] de productos químicos orgánicos de base. 0702 Residuos de la FFDU de plásticos, caucho sintético y fibras artificiales. 0706 Residuos de la FFDU de grasas, jabones, detergentes, desinfectantes y cosméticos.
11	Residuos inorgánicos del tratamiento químico de superficie y del recubrimiento de metales; residuos de la hidrometalurgia no férrea	1101 Residuos líquidos y lodos del tratamiento químico de superficie y del recubrimiento de metales [por ejemplo, procesos de galvanización, procesos de recubrimiento con cinc, procesos de decapado, grabado, fosfatación y desengrasado alcalino].
12	Residuos del moldeo y del tratamiento de superficie de metales y plásticos	1201 Residuos del moldeo (incluidos forjadura, soldadura, prensado, extracción, torneado, corte y limaduras). 1202 residuos del tratamiento mecánico de superficies (voladura, triturado, bruñido, rectificado y pulido). 1203 residuos de procesos de desengrase al vapor y agua.

13	Residuos de aceites y de combustibles líquidos	1304 Aceites de sentina. 1305 Restos de separadores de agua/sustancias aceitosas.
19	Residuos de las instalaciones para el tratamiento de residuos, de las instalaciones externas de tratamiento de aguas residuales y de agua para uso industrial	1908 Residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales no especificados en otra categoría.

Tabla 3.36: Tipos de residuos que pueden tratarse en una instalación de tratamiento físico-químico.
[121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

El principal flujo másico de las instalaciones de tratamiento físico-químico es el agua residual, que corresponde aproximadamente al 85-95 % de la masa de los residuos tratados.

Residuos marinos acuosos

La mayoría del agua residual procedente de los residuos marinos acuosos está contaminada con aceites, sustancias orgánicas y material sólido (por ejemplo, sedimento). Los contenidos de metales pesados, sales y otras sustancias inorgánicas presentes en las fracciones oleosas y acuosas son relativamente bajos. En la tabla 3.37 se recogen los criterios de aceptación y de procesamiento para la floculación/flotación y tratamiento biológico.

Componente	Valor límite de aceptación	Valor límite para el procesamiento	Política de mezclas*
PCB	Límite de detección	Límite de detección	X
Dioxinas	Límite de detección	Límite de detección	X
Pesticidas	Límite de detección	Límite de detección	X
Compuestos organoestánicos	Límite de detección	Límite de detección	X
Éteres difenilos bromados	Límite de detección	Límite de detección	X
Inhibición de la respiración	10 %	10 %	
N-total (Kjeldahl)	A debate	500	
CN	A debate	5	
Fenol	A debate	1500	
VOX	100	20	
EOX	10	5	X
Cd	0,1	0,1	X
Hg	0,01	0,01	X
Total de metales pesados	25	25	X

*el valor límite de aceptación es conforme con la política de mezclas.

Tabla 3.37: Criterios de aceptación y de procesamiento para la floculación/flotación y tratamiento biológico para residuos marinos acuosos.
[156, VROM, 2004]

Sólidos y lodos residuales

A continuación se muestran algunos sólidos y lodos residuales tratados mediante tratamientos físico-químico:

- amianto,
- escoria o cenizas de fondo de los procesos de combustión,
- residuos de los TGC (por ejemplo, cenizas de las incineraciones de RSM, incineradoras de residuos industriales u hospitalarios),

- lodos para estabilizar. Los lodos procedentes de la industria química pueden contener sales orgánicas y sulfatos,
- residuo estable,
- lodos del procesamiento de aguas residuales (municipales o industriales),
- residuos de la industria metalúrgica (polvos, lodos, escoria). Éstos pueden tener grandes contenidos en Cr(VI),
- catalizadores agotados,
- residuos de pinturas,
- residuos minerales del procesado químico,
- residuos que contienen compuestos ácidos y solubles,
- residuos con un elevado contenido en arsénico procedentes de las industrias química, metalúrgica u otra,
- suelo contaminado. Según lo acordado en una reunión destinada a establecer los indicadores para la contaminación del suelo [99, Fons-Esteve, et al., 2002], existen tres indicadores principales para determinar si un suelo está, o no, contaminado. Éstos son la acidificación, eutrofización (el indicador habitual es el contenido en nitrógeno) y el contenido en metales pesados (por ejemplo, mercurio). Los suelos contaminados pueden contener rocas, ladrillos y barras de refuerzo que pueden dañar los equipos utilizados para la manipulación del material, si no son retirados.

A continuación se ofrecen algunos datos sobre estos tipos de residuos.

Cenizas de fondo y residuos del TGC procedentes de los procesos de combustión

Algunos residuos de los procesos de combustión son las cenizas de fondo, residuos del TGC y torta de filtración. En la tabla 3.38 se recogen las características físico-químicas de dichos residuos procedentes de las incineradoras de RSM:

Propiedades	Compuestos	Valores
pH		11 – 12,5 – 13
Contenido en sales solubles	Cl, sulfatos	Hasta un 70 % (Conductividad 15.000 – 27.000 – 37.000 µS/cm)
Metales pesados	Pb, Zn, Cd, Cr	Diversos %
Compuestos inertes	Sílice, alúmina, cal	
Partículas finas		<100 µm
Densidad		Baja (0,4 – 0,6)
Material higroscópico	Sales, contenido excesivo de cal	
Prueba de lixiviación antes del tratamiento	Solubles Cr Cd Pb Zn As	10 – 80 % 1,5 – 8 ppm 1 – 500 ppm 1 – 1400 ppm 1 – 10.000 ppm 1 – 50.000 ppm
El número en el medio en un intervalo corresponde a la media.		

Tabla 3.38: Caracterización de los residuos procedentes de las incineradoras de RSM. [51, Inertec, et al., 2002]

Los componentes habituales de la escoria/cenizas de fondo procedentes de la incineración de residuos domésticos son los silicatos, compuestos alcalinotérreos, cloruros, sulfatos, metales no ferrosos (por ejemplo, As, Cd, Cu, Pb), metales ferrosos y metales pesados. Los componentes principales son la fracción mineral, la fracción sin incinerar y la chatarra.

Categorías	Porcentaje en peso (%)
Fracción mineral	85 – 90
Fracción sin incinerar	1 – 5
Chatarra	7 – 10

Tabla 3.39: Componentes principales de la escoria/cenizas de fondo. [89, Alemania, 2003]

Valores en %-peso	Escoria/cenizas de fondo (fresca)			Escoria/cenizas de fondo después de almacenada (tiempo de estancia de 3 meses)		
	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.
SiO ₂	42,91	49,2	64,84	39,66	49,2	60,39
Fe ₂ O ₃	9,74	12	13,71	8,41	12,7	17,81
CaO	10,45	15,3	21,77	10,42	15,1	23,27
K ₂ O	0,83	1,05	1,36	0,84	0,91	1,42
TiO ₂	0,65	1,03	1,33	0,65	0,88	1,12
MnO	0,06	0,14	0,22	0,1	0,17	0,26
Al ₂ O ₃	6,58	8,5	10,79	7,43	8,83	10,45
P ₂ O ₅	0,55	0,91	1,49	0,5	1,04	2,61
MgO	1,79	2,69	3,4	1,84	2,59	3,51
Na ₂ O	1,86	4,3	5,81	2,05	4,15	7,49
Carbonatos	2,56	5,91	10,96	5,59	5,83	7,62
Sulfatos	2,5	15,3	28,3	5,8	12,5	22,5
Cl	1,3	3,01	7	1,5	2,71	4,6
Cr (ppm)	174	648	1035	295	655	1,617
Ni (ppm)	55	215	316	90	165	260,2
Cu (ppm)	935	2151	6240	1245	2510	5823
Zn (ppm)	1200	2383	4001	1795	3132	5255
Pb (ppm)	497	1655	3245	1108	2245	3900

Tabla 3.40: Composición química de las cenizas de fondo procedentes de la instalación incineradora de residuos domésticos. [150, GTT, 2004]

La tabla 3.41 y 3.42 muestran algunos valores generales de los parámetros de las cenizas de fondo después del proceso de incineración, con datos recogidos en dos instalaciones de tratamiento diferentes.

Valores	Pb	Cr	Cu	Cd	As	Zn	Hg	Ni
Mínimo	0,6	0,1	0,2	0,0001	0,003	0,5	0,07	
Medio	1,6	0,5	2,2	0,021	0,012	4,8	0,7	
Máximo	5,2 – 6	2 – 9,6	7	0,02 – 0,08	0,022	10 – 21	2	0,5

Valores en g/kg de cenizas de fondo.

Tabla 3.41: Valores generales de las cenizas de fondo después de la incineración de los residuos domésticos. [89, Alemania, 2003]

Metal	Cenizas de fondo (escoria) (ppm)	Cenizas de fondo ¹ (escoria) (ppm)	Cenizas volantes y residuos procedentes de los procesos en seco y semiseco (ppm) ¹	Mezcla de cenizas volantes y lodos procedentes de las depuraciones húmedas (ppm) ¹
Cd	0,3 – 70,5	0,01 – 0,1	1 – 10	<0,001
Cr	23 – 3170	0,001 – 0,01	1 – 10	0,01 – 0,1
Hg	0,02 – 7,75	0,001 – 0,01	<0,001	<0,001
Pb	98 – 13.700	1 – 10	10.000 – 100.000	0,001 – 0,01

¹ Los valores corresponden a los valores de concentración en los lixiviados iniciales. Para obtener más información sobre incineradoras, consulte el documento de referencia BREF sobre incineración de residuos.

Tabla 3.42: Metales en las cenizas volantes y de fondo procedentes de la incineración de los residuos sólidos municipales. [113, COWI A/S, 2002], [150, GTT, 2004]

Durante la combustión de carbón se generan dos tipos de cenizas. Las cenizas volantes típicas están compuestas fundamentalmente de elementos incombustibles y partículas sin quemar, y contienen, como media: 50 % de sílice, 25-30 % de alúmina y 8 % de óxidos de hierro (que contienen Ca, K, Mg, Na, Ti y trazas de As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Zn). El otro tipo de ceniza volante se compone de cenizas sílico-calcáreas generadas por las técnicas de reducción de las partículas y las técnicas de reducción de los óxidos de azufre. Dichas cenizas son ricas en sulfato cálcico. Si desea encontrar más información, consulte el documento de referencia BREF para las grandes instalaciones de combustión.

Las cenizas que proceden de fuelóleo pesado contienen por regla general azufre, vanadio y níquel. También se caracterizan por presentar elevados porcentajes de carbono sin quemar, normalmente el 60 % aunque puede llegar hasta el 80 %. Si desea encontrar más información, consulte el documento de referencia BREF para las grandes instalaciones de combustión.

Amianto

La tabla 3.43 muestra los valores extremos encontrados en la composición de los diferentes tipos de amianto.

Valor en %	Amianto friable	Amianto de tránsito
Al ₂ O ₃	0,16 – 1,57	1,08 – 2,60
CaO	2,86 – 3,89	7,53 – 36,20
Fe ₂ O ₃	5,43 – 8,17	0,55 – 11,85
FeO	0,00	0,00
K ₂ O	0,02 – 0,26	0,39 – 0,43
MgO	69,00 - 78,49	1,22 – 56,13
MnO	0,04 – 0,18	0,01 – 0,2
Na ₂ O	0,41 – 0,73	0,01 – 0,14
P ₂ O ₅	0,16 – 0,22	0,02 – 0,20
SiO ₂	12,04 – 16,10	20,87 - 60,01
TiO ₂	0,02 – 0,06	0,09 – 0,23
Pérdida durante el encendido ¹	48,47 – 51,53	17,96 – 44,35

¹ Indicador del contenido orgánico de la muestra.

Tabla 3.43: Composición del amianto.
[94, USA DoE, 2002]

Secado a altas temperaturas

La instalación de secado realiza el pretratamiento de los residuos acuosos pastosos como los lodos de hidróxidos de metal o lodos de pinturas y barnices coagulados.

Secado térmico

Mediante este proceso se tratan los residuos peligrosos pastosos/sólidos que contienen una cantidad considerable de fluidos libres o combinados químicamente. Se procesan con el fin de recuperar disolventes, producir productos sólidos definidos o para el secado en la instalación.

Además pueden tratarse los tubos repartidores del coste calorífico o los botes aerosoles. Los tubos repartidores del coste calorífico se utilizan para medir el consumo de energía calorífica. Están compuestos principalmente de un tubo de vidrio y metil benzoato como medio de vaporización. El residuo seco (vidrio de desecho) de los tubos repartidores del coste calorífico pueden fundirse en las acerías correspondientes o utilizarse para la construcción de carreteras. El condensado de los procesos de secado puede reciclarse, por ejemplo, se reutiliza para la producción de tubos repartidores del coste calorífico.

Residuos entrantes en el tratamiento de residuos específicos

Hidrogenación de COP

Según el US DOE, este sistema puede manejar la mayoría de los tipos de residuos, incluidos los lixiviados de los vertederos, fondos de lagunas, suelos, lodos, líquidos y gases. Aún así el US

DOE advierte que deben controlarse los subproductos de la reacción y los productos intermedios reductores, tanto en el gas de escape de los procesos de reducción como en la caldera. El US DOE también insta a determinar la suerte corrida por el mercurio y otros compuestos inorgánicos volátiles.

El proceso no es discriminatorio; es decir las moléculas orgánicas como los PCB, HAP, clorofenoles, dioxinas, clorobencenos, pesticidas, herbicidas e insecticidas pueden convertirse cuantitativamente en metano.

Oxidación supercrítica del agua

El Departamento de Medio Ambiente y Patrimonio Australiano señala que esta tecnología está limitada al tratamiento de residuos líquidos o con un tamaño de partícula inferior a los 200 µm, y se aplica mayoritariamente para los residuos con un contenido orgánico inferior al 20 %.

La oxidación supercrítica del agua se ha aplicado a una gran variedad de materiales, por ejemplo, flujos de residuos acuosos, lodos, suelos contaminados, sustancias químicas orgánicas industriales, plásticos, sintéticos, pinturas y productos afines, compuestos orgánicos industriales, sustancias químicas agrícolas, explosivos, petróleo y productos del carbón, y productos de plástico y de caucho. Se puede aplicar al tratamiento de una serie de contaminantes, entre los que se incluyen aguas residuales con acrilonitrilo, aguas residuales con cianuro, aguas residuales con pesticidas, PCB, compuestos aromáticos y alifáticos halogenados, hidrocarburos aromáticos, MEK y compuestos orgánicos nitrogenados.

Técnica de los electrones solvatados

La tabla 3.44 muestra los residuos entrantes y salientes para el tratamiento de residuos clorados mediante la técnica de los electrones solvatados.

Material tratado	Productos	Opciones de eliminación
PCB concentrados	Bifenilo, Ca(OH) ₂ , CaCl ₂	Vertido controlado en forma de sales
PCB en terrenos	Bifenilo, Ca(OH) ₂ , CaCl ₂ , suelo limpio	Devolver la tierra al suelo
PCB en superficies	Bifenilo, Ca(OH) ₂ , CaCl ₂	Recoger las sales y verterlas de forma controlada
Mezclas de aceite/PCB	Bifenilo, Ca(OH) ₂ , CaCl ₂ , aceite	Reutilizar el aceite. Verter de forma controlada las sales
HCB concentrado	Benceno, NaCl, NaOH	Separar el benceno y verter de forma controlada las sales
HCB en terrenos	Benceno, NaCl, NaOH, suelo limpio	Separar el benceno y devolver el terreno con sal al suelo

Tabla 3.44: Productos y opciones de eliminación para la técnica de los electrones solvatados [100, PNUMA, 2000]

3.3.2 Consumos de los tratamientos físico-químicos

Aguas residuales

Las bases son necesarias en algunos tratamientos físico-químicos. En algunos casos, las bases de residuos se reutilizan en aplicaciones neutralizadoras. El neutralizador puede ser un flujo de residuos sólido o líquido o una base comprada, puesto que la mayoría de las instalaciones necesitan comprar algunas bases suplementarias. Normalmente se añaden ácidos acuosos que contienen metales, bases y residuos neutrales, y las instalaciones de tratamiento físico-químico están diseñadas normalmente para producir lodos que contienen metales ligeramente alcalinos. En la tabla 3.45 se recogen los consumos de algunos tratamientos físico-químicos de aguas contaminadas.

Parámetro	Consumo anual (t/año) *	Consumo específico (kg/tonelada de residuo tratado) *	Consumo anual en la vía inorgánica (t/año)	Consumo anual en la vía orgánica (t/año)	Consumo anual del TAR (t/año)	Consumo anual de una instalación de tratamiento de barnices (t/año)	Consumo anual del tratamiento de sustancias químicas de laboratorio (t/año)
Capacidad de producción media	45.000		20.000	66.000	30.000	Barniz: 15000 Disolvente: 15000 Polvo de barniz: 1000	1000
Consumo medio de ácidos	230 ¹	5,1	HCl: 69 Sulfúrico: 48	HCl: 8 Fosfórico: 8	HCl: 39,4		0,5
Cal	590 ¹	13,1	1023		50		10
Floculantes	290	6,4		8	16		
Otras sustancias químicas ²		0,4 – 3,0					
Sulfito de sodio			10,2		2		
Consumo de agua			759	9900	1788	2700	
Consumo de energía				275 kW	369 MWh	Fuelóleo: 1139 m ³ Electricidad: 189 MWh	
Agua residual			11.573	48.348	12.687		250
Peróxido de hidrógeno			6,2				0,1
Hipoclorito sódico			4,9				
Solución de cloruro de hierro				118			
Óxido de hierro					65,8		
Hidróxido sódico				110			1
Carbón activo				6			
Permanganato potásico					0,4		
Aditivos de separación					25		
Ácido amidosulfónico					n.d.		

* Notas: datos basados en los datos tomados por los operadores de las instalaciones de tratamiento físico-químico con una capacidad de 850 kt/año combinada. Los datos corresponden al año 2001. La antigüedad media de las instalaciones es de 17 años aproximadamente (con valores comprendidos entre los 4 y 39 años). Aproximadamente el 84 % (desde el 73 al 91 %) de las instalaciones de tratamiento físico-químico de residuos que se observaron pueden incluirse en los grupos 11, 12, 13, 16 y 19 de la LER.

¹ En estos valores no se incluyen los ácidos residuales ni las bases aceptadas y utilizadas.

² Sustancias químicas de desintoxicación, rupturas orgánicas de emulsiones, sorción y precipitación del ácido sulfúrico.

Tabla 3.45: Consumos del tratamiento físico-químico de las aguas residuales [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [135, UBA, 2003]

Se emplea aproximadamente una cantidad total de 0,4 m³ de sustancias químicas preparadas por m³ de agua residual. La tabla 3.46 muestra las sustancias químicas y algunas cantidades consumidas en la desintoxicación, neutralización y deshidratación para la eliminación de metales en las aguas residuales.

Sustancia química	Consumo
Cal o hidróxido sódico para la neutralización/precipitación	(NaOH 50 %) 120 l/m ³ agua residual
Ácido hidrocblórico o sulfúrico para la acidificación	(NaOH 30 %) 10 l/m ³ agua residual
Hipoclorito (oxidación del cianuro)	
Sulfato de hierro (II) o bisulfito sódico (reducción Cr ⁶⁺ o Cr ³⁺)	
Sulfato o cloruro de aluminio (floculación)	
Cloruro de hierro (III) (floculación)	
Sulfuro sódico (precipitación)	0,3 kg/m ³ agua residual
Materiales para mejorar la precipitación, floculación, coagulación y destrucción de complejos.	

Tabla 3.46: Las sustancias químicas y algunas cantidades consumidas en la desintoxicación, neutralización y deshidratación para la eliminación de metales de las aguas residuales. [156, VROM, 2004]

Precipitación/floculación

En los procesos de floculación/precipitación se usan predominantemente los siguientes compuestos inorgánicos:

- sosa cáustica;
- ceniza de sosa (carbonato sódico);
- cal;
- cloruro de hierro (III);
- cloruro de hierro (II);
- sulfato de aluminio;
- sulfuros.

Los floculantes sintéticos también se utilizan para mejorar la formación de flóculos y las características de la sedimentación. Están compuestos fundamentalmente por polímeros no iónicos, aniónicos y catiónicos, y copolímeros de compuestos iónicos y no iónicos.

En la tabla 3.47 se recogen las sustancias químicas empleadas para la precipitación de metales pesados disueltos; estos datos se refieren a sustancias químicas puras. Puede ser que en la práctica las cantidades necesarias sean de un 10 % a un 20 % mayores. La tabla 3.48 muestra los valores de precipitación para diversos metales.

Base utilizada (g)	Metal que precipita					
	Fe (II)	Fe (III)	Cu	Ni	Cr	Zn
CaO	100	150	88	96	162	86
Ca(OH) ₂	134	201	116	126	213	114
NaOH	144	216	126	136	231	122
Na ₂ CO ₃	190	285	168	181	307	162
MgO	73	110	63	69	117	62
Mg(OH) ₂	105	158	92	100	169	90

Tabla 3.47: Consumo teórico de bases para la precipitación de 100 g de metal. [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

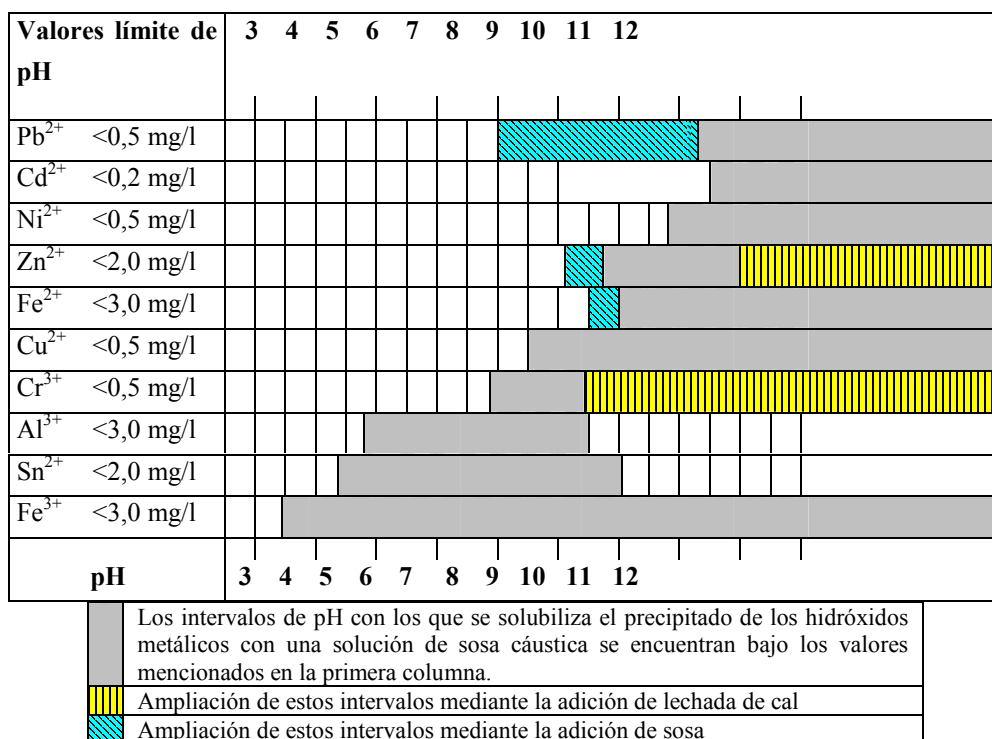


Tabla 3.48: Valores límite de precipitación para diversos metales.
 [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

Los lodos de la precipitación deben eliminarse si no pueden reciclarse. Por regla general, es necesaria la deshidratación. Los materiales de precipitación/floculación deben seleccionarse con arreglo al procedimiento de deshidratación empleado. Los lodos formados a partir de materiales que contienen aluminio no presentan normalmente buenas características de deshidratación.

La precipitación/floculación es una reacción o un grupo de reacciones dependientes fundamentalmente del pH. El parámetro de referencia más importante es pues el valor del pH. Deben cumplirse determinados criterios, puesto que el agua residual producida durante la precipitación/floculación se vierte al alcantarillado. Tras la floculación/precipitación, se llevan a cabo unos procedimientos y pasos adicionales para el tratamiento de aguas residuales con el fin de mantener dichos valores.

Oxidación/reducción

Reacción rédox	Oxidante o reductor	pH	Observaciones
Oxidación del cianuro y del nitrito	Hipoclorito sódico (NaOCl) o gas de cloro (Cl ₂)	Para CN: ~ 10 Para NO ₂ : ~ 3	<ul style="list-style-type: none"> reacción relativamente rápida; grado relativamente alto de salinización del agua residual resultante; formación de materiales orgánicos, que aparecen en forma de AOX. (Nota: el valor límite es AOX = 1 mg/l de agua residual para ser vertida al alcantarillado.)
Oxidación del cianuro y del nitrito	Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	Para CN: ~ 10, catalizador: sales de hierro (II) Para NO ₂ : ~ 4	<ul style="list-style-type: none"> reacción relativamente lenta; salinización escasa del agua residual; no se crean nuevos materiales en la forma de AOX; formación de fango, por la acción del catalizador (sales de hierro II); formación de espuma (en particular en presencia de materiales orgánicos).
Oxidación de nitritos	Ácido aminosulfónico (NH ₂ SO ₃ H)	~ 4	<ul style="list-style-type: none"> reacción enlentecida; formación de sulfatos; formación de nitrógeno elemental.
Reducción de cromatos	Sulfito de hidrógeno sódico (NaHSO ₃)	~ 2	<ul style="list-style-type: none"> reacción rápida; produce la salinización del agua residual; formación de fango.
Reducción de cromatos	Dióxido de azufre (SO ₂)	~ 2	<ul style="list-style-type: none"> reacción rápida; salinización ligera del agua residual; ligera formación de lodos.
Reducción de cromatos	Ditionito de sodio (Na ₂ S ₂ O ₄)	pH independiente	<ul style="list-style-type: none"> reacción rápida; produce la salinización del agua residual; formación de fango.
Reducción de cromatos	Cloruro o sulfato de hierro II (FeSO ₄ /FeCl ₂)	~ 3	<ul style="list-style-type: none"> reacción lenta; produce la salinización del agua residual; formación de fango.

Tabla 3.49: Consumo de sustancias químicas en las reacciones rédox. [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

Sorción (adsorción/absorción)

La tabla 3.50 contiene información de varias adsorciones. La gran superficie del carbón activo, que es especialmente adecuada para la adsorción de materiales, es considerable. Aunque hay que asegurarse de que el material que debe adsorberse (por ejemplo, para separarse) alcanza la superficie interior del carbón activo. Por este motivo, la tarea fundamental de los procesos tecnológicos del reactor y de la instalación es lograr que se produzca un intenso contacto entre el material y el adsorbente que debe separarse. En el tratamiento de materiales mezclados, por regla general el efecto o la eficacia de los adsorbentes se determina mediante experimentación.

TIPO	Características			
	Superficie específica (m ² /g)	Volúmenes de los microporos (ml/g)	Volumen de los macroporos (ml/g)	Peso aparente (g/l)
Carbono granular para la purificación de aguas	500 – 800	0,3 – 0,6	0,3 – 0,4	300 – 500
Carbono en polvo para la decoloración	700 – 1400	0,45 – 1,2	0,5 – 1,9	250 – 500
Gel de sílice con poros finos	600 – 850	0,35 – 0,45	<0,1	700 – 800
Gel de sílice con poros grandes	250 – 350	0,3 – 0,45	0,05 – 0,1	400 – 800
Alúmina activa	300 – 350	0,4	aprox. 0,1	700 – 800
Resina adsorbente	400 – 500			650 – 700

Tabla 3.50: Datos físicos de los adsorbentes.
[121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

Intercambiadores de iones

Intercambiadores de iones	Estabilidad		Sustancia de regeneración
	pH	°C	g/l de resina
Ácido débil, intercambiador catiónico forma iónica: H ⁺ , PD ⁺	1 - 14	75 - 120	HCl: 70 – 140 o H ₂ SO ₄
Ácido fuerte, intercambiador catiónico forma iónica: H ⁺	1 - 14	~120	HCl: ~80
base débil, intercambiadores aniónicos forma iónica: OH ⁻ , Cl ⁻	1 - 14	70 - 100	NaOH: ~60
base fuerte, intercambiadores aniónicos forma iónica: OH ⁻ , Cl ⁻	1 - 12	35 - 70	NaOH: ~80

Tabla 3.51: Descripción general de los tipos de intercambiadores y de sus propiedades.
[121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

Residuos marinos acuosos

El calor es necesario para calentar los depósitos y las canalizaciones con el fin de evitar la formación de escarcha, para la preparación de sustancias químicas, para la mejora de los procesos de separación y para otros procesos. La cantidad de energía que se consume depende de las condiciones climatológicas. La electricidad es necesaria para los sistemas de bombeo, compresores y otras instalaciones. Las diferencias en el consumo de energía pueden deberse a las diferencias en la capacidad de almacenamiento o la aplicación de evaporación.

El consumo total de energía para la producción de calor oscila entre los 140 y los 490 MJ/m³ de aguas residuales. El consumo total de electricidad oscila entre los 65 y los 170 MJ/m³ de aguas residuales. En los datos energéticos se incluyen otras actividades como la limpieza de recipientes, lo que implica que éste es un cálculo excesivo del consumo de energía necesario para el tratamiento biológico y físico-químico.

Se utilizan sustancias químicas en varios pasos del tratamiento, por ejemplo bases, ácidos, floculantes y coagulantes, carbón activo y oxígeno. El uso de ácidos y bases residuales reduce el consumo de sustancias químicas primarias. En la tabla 3.52 se muestran algunos datos del consumo de sustancias químicas.

Sustancia química	Consumo (kg/m ³ de agua residual)	Comentarios
Bases	2 – 3	
Ácidos	0 – 1	Depende del uso de ácidos residuales
Floculantes/coagulantes	1 – 7	
Oxígeno	5	Depende del uso de aire u oxígeno
Carbón activo	0,04	

Tabla 3.52: Datos del consumo de sustancias químicas en el tratamiento de residuos marinos acuosos y residuos afines [156, VROM, 2004]

El agua es necesaria para los centrifugados y la preparación de sustancias químicas. El uso del efluente procedente del tratamiento biológico reduce el consumo de agua.

Lodos y sólidos residuales

La tabla 3.53 y 3.54 muestran los consumos de las instalaciones de tratamiento para el lavado de suelos.

Consumo	Utilizado para	Valor
Eléctrico	Unidades de bombeo y rozamiento.	15 – 25 kWh por tonelada procesada de suelo.
Químico	Según la contaminación tratada. Algunas sustancias (como los floculantes) se usan normalmente en todas las instalaciones.	3 a 5 kg por tonelada de lodos secos.
Hídrico	Se debe fundamentalmente a la pérdida de agua de la torta de filtración residual.	De 0,1 a 0,3 toneladas por tonelada de suelo procesado.

Tabla 3.53: Consumos de las instalaciones de tratamiento de lavado de suelos. [123, Perseo, 2003]

Capacidad	(t/año)	68.000
Consumo de combustible	MJ/año	0
Consumo de electricidad	MWh/año	900
Capacidad de la instalación/electricidad	kWh/t	13,235
Consumo calorífico	MWh/año	0
Refrigeración	MJ/año	0
Sustancias químicas	Hidróxido sódico Antiespumantes Poliectrolitos	

Tabla 3.54: Consumos de una instalación para el tratamiento de suelos contaminados mediante lavados. [66, GTT, 2003]

3.3.3 Emisiones de los tratamientos físico-químicos

3.3.3.1 Emisiones de los tratamientos físico-químicos de las aguas residuales

El tratamiento físico-químico de las aguas residuales genera un flujo de agua descontaminada que corresponde con el denominado flujo de residuos salientes del tratamiento. En el apartado 3.3.4 se ofrece un análisis de este flujo. La figura 3.3 y 3.4 extrapolan los diagramas de flujo que dan lugar a las emisiones procedentes del tratamiento físico-químico de las aguas residuales.

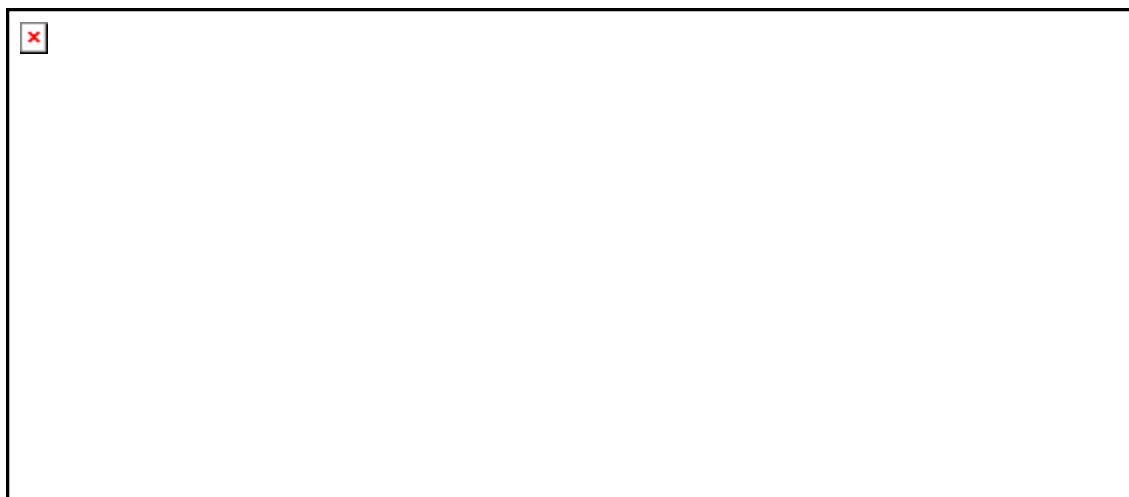


Figura 3.3: Principales flujos de emisión procedentes de los tratamientos físico-químicos de las aguas residuales.
[80, Petts y Eduljee, 1994]



Figura 3.4: Posibles flujos de emisión de los tratamientos físico-químicos.
Nota: alguna de estas emisiones sólo aparecen en tratamientos físico-químicos en los que no se ha procedido debidamente.
[80, Petts y Eduljee, 1994], [150, GTT, 2004]

Emisiones gaseosas

Algunos compuestos orgánicos pueden viajar por toda la instalación sin ser eliminados y terminar en el lodo o efluente final, mientras que otros pueden evaporarse durante las reacciones exotérmicas de neutralización o durante el prensado de los lodos. Determinados residuos orgánicos contienen especies «escondidas». Por ejemplo, los aceites lubricantes contienen naftaleno, BTEX, fenoles, cobre y nitrógeno y pueden emitir al aire amoníaco y xileno durante la separación de la fase oleica de la acuosa, o aumentar los niveles en el efluente final del centro. Los residuos acuosos que contienen disolventes pueden liberarse debido a las altas temperaturas del proceso. Los residuos con un alto contenido en nitrógeno pueden liberar amoníaco al aire.

Algunos materiales que atraviesan la instalación (normalmente no son atrapados en los procesos físico-químicos) son COT/DQO, diclorometano, fenol, BTEX y naftaleno asociados con el agua

residual del pretratamiento de los aceites y COT, diclorometano, fenol, BTEX y naftaleno asociados con los residuos del pretratamiento de los aceites.

Las emisiones gaseosas de cada una de las instalaciones dependen del sistema de reducción de las emisiones utilizado. Muy pocas instalaciones disponen de programas de seguimiento que cuantifiquen las emisiones gaseosas. Las emisiones gaseosas de estos tratamientos normalmente son COV, gases ácidos y amoníaco. Aunque sea difícil de cuantificar debido a la falta de programas de seguimiento, se ha visto que si se emplean recipientes para el tratamiento cerrados y sistemas de tratamiento/recogida de aire, se reducen estas emisiones. Los problemas como la presencia de bajas concentraciones de disolventes orgánicos en los residuos puede que no siempre sean detectados por los operadores de los TR, pero ambientalmente son importantes ya que pueden dar lugar a emisiones significativas al aire durante el proceso.

Los rápidos cambios de pH, rápidos aumentos de temperatura y agitaciones energéticas pueden dar lugar a las emisiones al aire. También pueden producirse reacciones gaseosas. La mayoría de las instalaciones liberarán COV de los residuos mediante una mezcla de calentamiento, agitación, o prensado o secado de lodos. Del mismo modo, existe siempre la posibilidad de que se liberen los productos intermedios de la reacción. Las emisiones de metales al aire pueden evaluarse mediante resultados analíticos. La evaporación ocurre asimismo de forma incontrolada, como la evaporación de disolventes cuando se mezclan sólidos y líquidos o cuando se agitan los lodos en depósitos abiertos.

Las emisiones de compuestos orgánicos pueden aparecer cuando se tratan los flujos de residuos mezclados (por ejemplo, en la neutralización de ácidos, los disolventes se desplazan a la fase gaseosa que no puede ser reducida por un depurador húmedo empleado para reducir las emisiones ácidas) o pueden estar presentes porque su valorización no sea ni técnica ni económicamente viable (o sea, del mismo modo que los contaminantes asociados con residuos difíciles de manipular se tratan por otros métodos).

Parámetros de las emisiones gaseosas	Emisión media anual perceptible (mg/Nm ³)	Flujo máscico (g/h)
Flujo de aire de escape	325 Nm ³ /t	
COT ¹	2,84 – 36	500 (534 kg/año)
Polvo	0,21	40,3 kg/año
BTX	4,9	
Benceno		2,5
HCN	<0,05 – 0,12	0,043 - 15
H ₂ S	0,31	15
Cl ₂	<0,03	15
SO ₂	1,17	0,5
HCl	0,3	0,2
Hg	0,01	0,0034
Notas: datos basados en los datos de los operadores de las instalaciones de tratamiento físico-químico con una capacidad total de 850 kt/año. Los datos corresponden al año 2001. La antigüedad media de las instalaciones es de 17 años aproximadamente (con valores comprendidos entre los 4 y 39 años). Aproximadamente el 84 % (desde el 73 al 91 %) de las instalaciones de tratamiento físico-químico de residuos que se observaron pueden incluirse en los grupos 11, 12, 13, 16 y 19 de la LER. Las emisiones de gases de escape se miden normalmente de forma intermitente. Las medidas se toman para supervisar los procesos, en los que se puede esperar la contaminación del aire de escape en la operación deseada, como la evaporación u oxidación del cianuro. ¹ los valores corresponden a mg de carbono		

Tabla 3.55: Emisiones gaseosas de los tratamientos físico-químicos de aguas residuales. [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [135, UBA, 2003], [157, UBA, 2004]

Las emisiones de COV en los tratamientos de residuos marinos acuosos oscilan entre los 0,4 y los 0,6 kg/m³ de agua residual si no se ha aplicado ningún tratamiento para el gas de escape. El

tratamiento biológico genera olores. Una de las instalaciones de ejemplo presenta un valor medio de emisiones de 540 millones uoE/h.

Emisiones acuosas (para obtener más información, consulte el apartado 3.3.4)

Los residuos acuosos (si los hubiera) se vierten normalmente al alcantarillado. Los residuos procedentes de la industria química, residuos con un alto contenido en nitrógeno (lixiviados de vertederos) y valorizaciones/reprocesamientos de aceites pueden introducir especies adicionales y, por tanto, hay que prestarles especial atención. Los residuos con un alto contenido en nitrógeno aumentan la posibilidades de emisión de óxido de nitrógeno. Los flujos acuosos normalmente contienen metales, amoníaco y sustancias químicas orgánicas.

En todos los casos, las autorizaciones de los efluentes exigen la protección de los trabajos de tratamiento del alcantarillado frente a los vertidos de la instalación, esta protección se centra en DQO, pH, contenido oleoso, nitrógeno amoniacal, contenido metálico, sulfatos y sulfuros, así como diclorometano (el compuesto de limpieza halogenado más común y propenso a contaminar las agua de lavado e interceptores). Normalmente se conoce el volumen total vertido.

A pesar de que las técnicas de precipitación de metales son razonablemente eficaces, un proceso físico-químico típico puede liberar entre 1 y 3 toneladas de metales al alcantarillado anualmente (el valor real depende del tamaño de la instalación y de la cantidad y tipo de residuo). Por ejemplo, si se consideran los valores de emisión recogidos en la tabla 3.69 y sin considerar el hierro como metal, es necesario un volumen de agua residual de 500.000 m³ para alcanzar los niveles máximos del intervalo. Esto se asocia con partículas arrastradas en el efluente del proceso y tiene lugar por ineficiencias en la fase de precipitación o durante el asentamiento de los metales precipitados.

La mayoría de los centros no tienen datos sobre los vertidos de cloruros, nitrógeno y fósforo al alcantarillado. Los cálculos aproximativos indican que para los centros que disponen de datos, las emisiones son escasas, salvo que el centro esté especializado en tratamiento de ácido fosfórico o manipule grandes flujos de nitrógeno. Se exige a la mayoría de los centros que controlen el nitrógeno amoniacal para que ofrezcan un valor de emisión mínimo.

El proceso de aguas residuales mezcladas con material orgánico (por ejemplo, mezcla de aceites minerales, aceites sintéticos, queroseno, residuos de los interceptados, hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcohol, disolventes clorados, ésteres, éteres, aldehídos, cetonas, grasas y ceras) genera alrededor de 836 kg de agua residual por tonelada de residuo de entrada y 5,5 kg de lodos por tonelada de residuo de entrada.

Se producen emisiones al agua de sales, por ejemplo, sulfatos y cloruros. Estas sales se añaden como reactivos y no se eliminan en los procesos de precipitación, neutralización y filtración. Esto provoca que el efluente contenga elevadas concentraciones de dichos componentes.

Residuos sólidos y emisiones al terreno

Los lodos generados en las instalaciones de tratamiento físico-químico pueden prensarse y enviarse para un posterior tratamiento, prensarse y mezclarse con otros lodos (normalmente orgánicos) in situ o mezclarse con residuos del lavado de los gases de combustión para obtener un producto sólido (con reacción exotérmica). Casi todos los centros producen lodos/torta, que habitualmente se incinera o coocinera, o en algunas escasas ocasiones se envía directamente al vertedero.

Los valores metálicos en los residuos están bien clasificados, pero no así la contaminación orgánica. Normalmente no se cuantifican el nitrógeno y el fósforo de los residuos y aparecen en la solución acuosa.

Residuo generado en el proceso	Cantidad específica (kg/tonelada de residuo total procesado en la instalación de tratamiento físico-químico)
Aceite	30 – 90
Concentrados ¹	14 – 40
Lodos de hidróxidos ²	60 – 90
Fango de los procesos de purificación y vaciado	10 – 50

Notes: datos basados en los datos de los operadores de las instalaciones de tratamiento físico-químico con una capacidad total de 850 kt/año. Los datos corresponden al año 2001. La antigüedad media de las instalaciones es de 17 años aproximadamente (con valores comprendidos entre los 4 y 39 años). Aproximadamente el 84 % (desde el 73 al 91 %) de las instalaciones de tratamiento físico-químico de residuos que se observaron pueden incluirse en los grupos 11, 12, 13, 16 y 19 de la LER.

El aceite normalmente se recicla y el resto de sustancias se reciclan o se eliminan, según sus características y las condiciones del mercado.

¹ Concentrados de la evaporación/extracción y filtración de membrana, así como de la ultrafiltración e intercambiadores iónicos.

² El peso corresponde al lodo húmedo, TS drenados: ~35 – 45 %.

Tabla 3.56: Residuos generados en el proceso procedentes de las instalaciones de tratamiento físico-químico.
[121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

Los residuos de los tratamientos físico-químicos se generan principalmente en la floculación/precipitación, concentrados de la filtración de membrana, evaporación o intercambio iónico; aunque también se producen en los procesos de limpieza y drenaje, construcciones y contenedores. El grado de uso del residuo varía según el caso. Así el aceite separado normalmente puede reciclarse, los concentrados de la filtración de membrana, evaporación o intercambio iónico pueden reciclarse en algunos casos, los lodos de la precipitación/floculación generalmente se eliminan, y los residuos de la limpieza y drenaje normalmente también se eliminan mediante inmovilización o incineración.

La tabla 3.57 muestra la composición de los lodos generados en el tratamiento físico-químico de las aguas residuales.

Compuesto	Valor	Unidad
pH	7 – 9	
COT	54,7	peso-%
Pérdida durante el encendido	54,7	peso-%
Hidrocarburos	30.000	mg/kg
PCDD/F	<0,1	ng-TE/kg
PCB (Σ 6)	<0,12	mg/kg
EOX	10	mg/kg
CN total	<0,1	mg/kg
As	0,2	mg/kg
Cd	2,7	mg/kg
Cr total	887	mg/kg
Cu	349	mg/kg
Hg	0,2	mg/kg
Ni	210	mg/kg
Pb	211	mg/kg
Tl	14	mg/kg
Zn	1970	mg/kg

Tabla 3.57: Lodos generados en el tratamiento físico-químico de aguas residuales
[157, UBA, 2004]

La cantidad producida de lodos que contienen metales (torta de filtración) depende de los contaminantes específicos en el agua residual, sus concentraciones, así como de los reactivos y

otras sustancias químicas que se empleen. La cantidad de lodos oscila entre el 2,5 y el 10 % del agua residual de entrada. La cantidad de la torta de filtración se reduce si se sustituye la cal por hidróxido sódico. No obstante, la cal sigue siendo necesaria para la precipitación de fluoruros.

La torta de filtración con grandes concentraciones de metales, por ejemplo, de níquel y cobre, puede utilizarse como materia prima por la industria metalúrgica. En otros casos, la torta de filtración se elimina como residuo sólido.

Residuos sólidos procedentes de los residuos marinos acuosos

Los residuos sólidos que se generan son:

- residuos sólidos del decantador/centrifugador y filtros (50 kg/t de agua residual);
- fracciones químicas y aceite separado (es probable que sean aptas para reutilizarse como combustible).

Emisiones procedentes de actividades específicas de los tratamientos físico-químicos

Es de esperar que en la mayoría de las instalaciones de tratamiento se produzcan las emisiones recogidas en la tabla 3.58. El grado de emisión depende de la capacidad de producción de la instalación y de los sistemas de reducción de emisiones que se apliquen.

Actividad físico-química	Aire	Agua	Residuos/suelo
Adición de carbonato sódico sólido o adición de ácido sulfúrico para formar sulfato de cromo o de níquel	Las emisiones de CO ₂ , más otros gases ácidos (por ejemplo SO _x) dependen de las soluciones iniciales.	La fracción líquida se devuelve a la instalación para el combinado y el tratamiento. Ésta es una minúscula fracción de los principales residuos entrantes.	El producto precipita y se deja enfriar y cristalizar antes de meterlo en mangas y enviarlo para su reciclaje.
Oxidación del cianuro		HOCl	
Procesado de lámparas y tubos fluorescentes	Hg y SO _x	Se libera una solución débil de hidróxido sódico.	
Precipitación de metales		Zn, Cu, Cd	
Sistemas de valorización de plata	Se libera una cantidad no cuantificada de amoníaco, y posiblemente de SO _x , de las sustancias químicas fotográficas debido a la elevada concentración de nitrógeno y sulfuro en sus soluciones. Asimismo se producen emisiones adicionales de COV durante los procesos de traslado y de acumulación.		Posiblemente, exista un alto grado de nitrógeno en el residuo.
Tratamiento de residuos fotográficos y de impresión.	Amoníaco, COV y potencialmente SO _x	Sólidos en suspensión, nitrógeno (sobre todo nitratos) y DQO.	Los residuos normalmente tienen un elevado contenido en nitrógeno.
Uso de productos cáusticos sin refinar		Hg	
<i>Operaciones unitarias</i>			

Actividad físico-química	Aire	Agua	Residuos/suelo
Arrastre con aire	Amoníaco y COV, incluidos disolventes orgánicos (por ejemplo DCM)		
Flotación por aire disuelto (FAD)			Los lodos tomados del fondo de los depósitos de sedimentación, normalmente contendrán hasta un 4 % de sólidos secos.
Evaporación	Normalmente tiene lugar en sistemas totalmente cerrados, aunque diversas válvulas de ventilación pueden provocar emisiones fugitivas.		
Filtración/prensado. Esta es una zona habitual en donde se producen emisiones en las instalaciones químicas.	Amoníaco y, si hay un gran contenido en compuestos orgánicos en los flujos residuales, COV.		
Intercambiador iónico		El eluato de un intercambiador iónico debe seguir tratándose en la instalación en función de su composición/concentración.	
Depósitos de mezclado	Pueden producir una variedad de emisiones, parte como resultado de las reacciones químicas, y parte por el efecto del calor que reduce la solubilidad de los gases en el agua. El amoníaco es el gas que con mayor frecuencia suele desprenderse en esta fase del proceso.		
Neutralización	Puede ser una reacción exotérmica violenta con un cambio rápido de pH. Gases ácidos como el CO ₂ , HCl, Cl ₂ , NO _x , y SO _x , además del amoníaco, se desprenden del depósito del reactor, junto con materiales volátiles contaminantes, como disolventes de limpieza en aguas de lavado. Los gases pueden portar cuerpos líquidos y partículas.	Algunos compuestos típicos son el cloruro, fósforo, nitrógeno y metales.	Algunos compuestos típicos son el cloruro, fósforo, nitrógeno y metales.

Actividad físico-química	Aire	Agua	Residuos/suelo
Separación orgánica de las emulsiones			Normalmente, en las separaciones orgánicas se producen menores cantidades de fangos (tortas de filtración) que en las separaciones ácidas.
Oxidación/reducción		La salinización del agua residual es dependiente del proceso.	
Sedimentación	Las emisiones al aire son posibles pero improbables.		Los lodos tomados del fondo de los depósitos de sedimentación contendrán alrededor de un 0,5 - 1,0 % de sólidos secos.
Gestión de los lodos (por ejemplo prensado y almacenamiento de lodos)	COV como emisiones fugitivas. Gases procedentes de solución.		
Extracción de disolventes	Disolventes como emisiones fugitivas. Riesgo significativo de emisiones durante los traslados y liberaciones de emergencia.	Disolventes.	
Extracción	Las emisiones quedan atrapadas en las zonas habilitadas en la instalación de tratamiento físico-químico.		

Tabla 3.58: Emisiones de los procesos de tratamiento físico-químico que se aplican al agua residual.

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

3.3.3.2 Emisiones de los tratamientos físico-químicos de los lodos y sólidos residuales

Es de esperar que en la mayoría de las instalaciones de tratamiento se produzcan las emisiones recogidas en la tabla 3.59. El grado de emisión depende de la capacidad de producción de la instalación y de los sistemas de reducción de emisiones que se apliquen

Actividad físico-química	Aire	Agua	Residuos/suelo
Filtración/prensado	Amoníaco y, si hay un gran contenido en compuestos orgánicos en los flujos residuales, COV.		
Instalaciones para la inmovilización de las mezclas	Emisiones por los respiraderos del tejado. Las emisiones se producen durante el traslado desde el depósito de mezcla hasta el lugar de eliminación exterior; y por las vías de acceso en derrames/filtraciones mientras se cargan los depósitos de reacción.		

Actividad físico-química	Aire	Agua	Residuos/suelo
Combinación de lodos	Partículas y COV, sobre todo si tiene lugar una reacción exotérmica.		
Gestión de lodos (por ejemplo prensado y almacenamiento de lodos)	COV como emisiones fugitivas. Gases procedentes de soluciones.		
Solidificación	En esta operación existe un riesgo de emisión de partículas.		
Carga automatizada de residuos	COV, polvo y olores durante el traslado de residuos y reactivos.		
Depósito de reacción	Las emisiones se producen por reacciones de sustancias incompatibles, reacciones incontroladas debido a una dosificación incorrecta de los reactivos o formación de puntos calientes durante un mal mezclado.	Fugas en equipos dañados o sometidos a un mal mantenimiento.	Fugas en equipos dañados o sometidos a un mal mantenimiento.
Silo de reactivos	El polvo surge cuando los silos se llenan en exceso de reactivos. Asimismo, se producen emisiones de polvo fugitivas en las conexiones de los silos y debido a un mal almacenamiento de los reactivos.		

Tabla 3.59: Emisiones de los procesos de tratamiento físico-químico que se aplican a sólidos y lodos.

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002]

Las emisiones fugitivas durante la manipulación de materiales en procesos ex situ a menudo se pasan por alto o ignoran, aunque lleguen a representar una fracción significativa de las emisiones totales en los tratamientos de suelos.

Emisiones en las excavaciones y retiradas de suelos

Las emisiones de COV que tienen lugar durante las excavaciones y retiradas de suelos se deben al intercambio con la atmósfera del gas contenido en los poros del suelo contaminado, y a la difusión de contaminantes por el suelo. Existen varios puntos de riesgo de emisión cuando se excava, y todos se consideran fuentes fugitivas. Durante las excavaciones, los principales puntos de riesgo de emisión se encuentran en:

- residuos expuestos en los fosos excavados;
- materiales cuando se descargan de las cubetas de excavación, y
- residuos/suelos en las pilas de almacenamiento a corto plazo.

Además, los equipos de movimientos de tierras darán lugar a otras fuentes de emisión de COV, partículas, óxidos de nitrógeno, etc. Se sabe que pueden liberarse grandes cantidades de COV del suelo durante su manipulación y, por consiguiente, son las emisiones a las que hay que prestar mayor atención. En algunos sitios debe prestarse especial atención a las emisiones de partículas, metales asociados y compuestos semivolátiles.

Sorprenden los escasos datos publicados sobre emisiones en las excavaciones, dada la frecuencia con la que se llevan a cabo excavaciones de suelos contaminados.

No obstante, en dos centros se han medido los índices de emisión para las operaciones combinadas de excavación y descarga que reflejan valores tan altos como 4 g/min para algunos compuestos específicos. En este caso, la mayoría de los COV presentes en el suelo se liberaron durante la excavación, basándose en una comparación de las emisiones totales medidas frente a la masa de dichos contaminantes en el terreno (calculada a partir de los datos de las

concentraciones en el suelo). Esto se pudo comprobar en ambos centros, pese a que existían diferencias en las concentraciones y tipos de suelos.

Actividad	Volumen de lodos (m ³)	Superficie expuesta (m ²)	Índice de emisión de hidrocarburos C ₈₊ (g/s)	Flujo de emisión de C ₈₊ (g/m ² /s)
Movimiento de lodos	25 – 27	45 – 125	1,33	0,01 – 0,03
Excavación de lodos	26 – 48	125 – 261	7,76	0,03 – 0,06
Deshidratación de lodos	1,7	3,3	1,24	0,38
Posmovimiento	26	91	1,11	0,01

Tabla 3.60: Resultados de las medidas de las emisiones.
Según [30, Eklund, et al., 1997]

La magnitud de la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) depende de varios factores, entre los que se incluyen el tipo de compuestos presentes en el residuo, la concentración y distribución de los compuestos y la porosidad y humedad del suelo. Los parámetros clave del funcionamiento son la duración y animación de la manipulación, y el tamaño del equipo empleado. Cuanto más prolongado o energético sean el movimiento y la manipulación, mayor será la probabilidad de que se volatilicen los compuestos orgánicos. Cuanto más elevados sean los volúmenes de materia manipulados por operación unitaria, menor será el porcentaje de COV liberados del suelo, porque la relación entre la superficie y el volumen está minimizada.

Los suelos que contienen benceno u otras sustancias carcinógenas volátiles pueden suponer un gran riesgo para los trabajadores y para la población de los alrededores, si deben excavar.

La magnitud de las emisiones procedentes de la manipulación del suelo variará según las condiciones de trabajo. Los índices de excavación y descarga, la altura de la caída, la cantidad de superficie expuesta, el tiempo en el que el suelo está expuesto, la forma de las pilas de almacenamiento y la sequedad de las capas superficiales del terreno, afectarán a las emisiones de COV. Existen unas tecnologías de control adicionales para minimizar las emisiones, pero no son muy eficaces y son costosas de implantar si se comparan con la de control para fuentes puntuales.

Emisiones de la desorción térmica

Las emisiones gaseosas de los sistemas de desorción térmica dependen de las características de los residuos, el proceso de desorción aplicado y el equipo de control de las emisiones empleado. Las emisiones gaseosas asociadas con la desorción térmica proceden de diversas fuentes. Las fuentes puntuales de emisiones gaseosas varían mucho con cada proceso. La chimenea de un posquemador airea los productos de combustión, al igual que lo hace un sistema de calefacción por combustible si no se hacen pasar los gases de combustión por un desorbedor. Un sistema de calefacción por combustible normalmente funciona con propano, gas natural o fuelóleo. Si los controles de las emisiones de COV consisten en una cámara de filtros de manga, depurador y adsorbedor de carbón en fase de vapor, el gas de escape contiene pequeñas concentraciones de los contaminantes originales, así como los productos de cualquier reacción química que pueda tener lugar. El volumen del gas de escape de un desorbedor térmico depende del tipo de procesador. La tabla 3.61 muestra algunos valores de las emisiones de la desorción térmica.

	Flujo de gases (Nm ³ /h)	Contaminantes que puede contener
Calefacción directa	17.000 – 85.000	COV
Calefacción indirecta	1700 – 8500	COV

Tabla 3.61: Emisiones de la desorción térmica mediante calefacción directa e indirecta.
[30, Eklund, et al., 1997]

Diversos tipos de sistemas de desorción térmica pueden producir hasta nueve flujos de procesos residuales: suelo tratado, desechos de tamaño superior a la media, contaminantes condensados,

agua, polvo de control de partículas, gases de escape limpios, lodos del separador de fase, carbón agotado en fase acuosa y carbón agotado en fase de vapor. Los gases de escape procedentes de unidades calentadas de forma indirecta, por ejemplo, tornillos térmicos, pueden tratarse con sistemas físicos/químicos más pequeños, como una cámara de filtros de manga o un condensador, seguidos de un posquemador.

Contaminante	Procedente de
Emisiones fugitivas	<ul style="list-style-type: none"> excavación de suelo contaminado; clasificador, acarreador y tolva de alimentación; componentes de los controles y sistema de desorción térmica; gases de escape de los sistemas de calefacción, suelos tratados, polvo de control de partículas, combustible sin tratar procedente del separador oleoacuoso, carbón agotado procedente de un adsorbidor de carbón en fase acuosa y en fase de vapor, agua tratada y lodos del reactor.
Partículas, óxidos de nitrógeno (NO _x), monóxido de carbono (CO) y gases ácidos.	Combustión y pirólisis.
Dioxinas, furanos y fenol	

Tabla 3.62: Emisiones genéricas de la desorción térmica.
[30, Eklund, et al., 1997]

Parámetro	Concentración inicial ¹ (ppm)	Concentración final ¹ (ppm)	Eficacia de la eliminación (%)	Concentraciones ² típicas de los gases de escape por la chimenea
P		700 – 1000 mg/Nm ³		
Benceno	0,11 - 39,5	<0,01 – 0,06	84,5 – 99,9	4,3 – 8,6 ppm
Tolueno	0,27 – 2	<0,01 – 0,1	n/a	0,6 – 0,8 ppm
m,p-Xilenos	<0,8 – 3	0,2 – 1,2	<75	0,42 – 3,5 ppm
o-Xilenos	3,1 – 15,6	<0,01	99,7 – 99,9	
Xilenos totales	13,1	0,1	99,2	
Etilbenceno	0,11	<0,01	>90	
THC	39 – 393	5,7 – 9,5	85 – 97,5	129 – 2800 ppm
COV		0,045 – 2,27 kg/h		
Gasóleo	1875	<1	>99,9	
Naftaleno				5136 – 6757 µg/Nm ³
Acenaftileno				634 – 901 µg/Nm ³
Acenafteno				317 – 638 µg/Nm ³
Fluoranteno				405 – 763 µg/Nm ³
Fenantreno				385 – 645 µg/Nm ³
Antraceno				<1,4 – 427 µg/Nm ³
Fluoranteno				24 – 135 µg/Nm ³
Pireno				32 – 111 µg/Nm ³

¹ Basado en dos o tres instalaciones, según el parámetro.

² Basado en dos instalaciones. Los equipos de control de emisiones consisten en un depurador húmedo y un aireador ciclónico. Los valores en ppm se refieren a condiciones en seco.

Las emisiones de COV de las secadoras de aglomerados de asfalto pueden variar en el orden de varias veces su magnitud en función de si se utilizan, o no, posquemadores como dispositivo de control. Estos sistemas de tratamiento normalmente no emplean sistemas de control de COV, salvo que se hayan modificado para la remediación de suelos.

Una empresa ha calculado las emisiones habituales del tratamiento de suelos en una secadora de aglomerado de asfalto modificada. Este sistema está compuesto por un tambor rotativo alimentado directamente que funciona a 290 – 540 °C. También se usan un colector de tubo ciclónico primario y una cámara de filtros de mangas con pulsorreactor para controlar las emisiones de partículas. Un oxidante térmico (por ejemplo, un posquemador) destruye los compuestos orgánicos en el flujo de los gases de escape con una eficacia del 99 – 99,99 %. Según una velocidad de procesamiento de 32-54 t/h.

Tabla 3.63: Características del material de entrada y de salida de las secadoras de aglomerados de asfalto.
[30, Eklund, et al., 1997]

Contaminante	Unidades	Tiempo de permanencia (minutos)	Temperatura (°C)	Concentración inicial	Concentración final	Tasa de emisiones incontroladas (g/h)	Tasa estimada de emisiones (g/h)
PCB	ppm	19	550	37,5	2	1,14	5,68e-02
2,3,7,8-TCDD	ppb	40	560	260	0,018	0,00832	4,16e-04
	ppb	19	560	236	0,018	0,00755	3,78e-04
	ppb	10,5	560	266	0,018	0,00851	4,26e-04
	ppb	24	460	233	0,5	0,00744	3,72e-04
	ppb	5,6	550	48	0,084	0,00153	7,67e-05
	ppb	20	555	56	0,23	0,00178	8,92e-05

La eficacia total prevista es del 95 %.

Tabla 3.64: Emisiones previstas de los compuestos seleccionados para la limpieza del suelo contaminado por PCB mediante un proceso de desorción térmica. [30, Eklund, et al., 1997]

Emisiones de la extracción con vapor de residuos sólidos

Las emisiones gaseosas relacionadas con los sistemas de extracción con vapor proceden principalmente de la chimenea. Pueden producirse emisiones adicionales de los compuestos orgánicos volátiles en el tratamiento de cualquier agua contaminada sometida a un proceso de extracción. Las emisiones fugitivas se consideran insignificantes debido a la presión negativa que existe en casi todo el sistema.

Entre las emisiones se incluyen compuestos orgánicos volátiles sin tratar procedentes del proceso de extracción. La eliminación y posterior emisión de compuestos orgánicos semivolátiles también se producirá, aunque de forma menos eficaz que para los COV. Asimismo se producirán cantidades más pequeñas de emisiones gaseosas relacionadas con el sistema de control. Debido a la variedad de tecnologías empleadas para el tratamiento con vapor, entre las emisiones de las chimeneas podrán incluirse algunos productos de la combustión incompleta, NO_x, partículas, CO y gases ácidos. No obstante, a los compuestos orgánicos volátiles procedentes de las fuentes puntuales debe prestárseles máxima atención. En la tabla 3.65 se recogen los datos de las emisiones gaseosas en varios sistemas de extracción con vapor.

N.º de sistemas estudiados	Parámetro	Unidades	Intervalo o valor	Media aproximada
13	Magnitud del flujo por pozo	m ³ /min	0,2 – 8	2
	Eliminación	Kg/día	0,9 – 113	27
	Concentración del gas de escape	ppmv	20 – 350	100
17	Magnitud total del flujo	m ³ /min	0,1 – 161	23
	Tratamiento:	n.º de sistemas		
	• ninguno		9	
	• carbono		6	
	• incineración catalítica		1	
	• combustión		1	
	Tasa de eliminación	Kg/día	2 – 195	45
17	Magnitud total del flujo	m ³ /min	0,7 – 318	62
	Concentración de contaminantes	ppmv	150 – 3000	400
	Eficacia del sistema de control	%	90 – 99	95

Tabla 3.65: Emisiones de los sistemas de extracción con vapor. [30, Eklund, et al., 1997]

La tasa de emisión de compuestos COV a lo largo del tiempo en sistemas de extracción de vapor continuos suele presentar una curva de extinción de tipo exponencial.

Contaminante	Valor máximo de las emisiones incontroladas de la chimenea ¹ (g/h)	Valor máximo de las emisiones controladas de la chimenea ² (g/h)
Tricloroetileno (TCE)	1712	17,1
trans-1,2-dicloroetileno (DCE)	99,4	0,99
1,1,1-tricloroetano (TCA)	13,6	0,14
Tetracloroetileno (PCE)	3,18	0,03
TOTALES	1830	18,3

¹ Emisiones incontroladas en función de la tasa de eliminación de cada contaminante.
² Según una eficacia estimada total del sistema de control del 99 % para dos paquetes de adsorción de carbono en serie.

Tabla 3.66: Emisiones estimadas para un sistema de extracción al vacío in situ.
 [30, Eklund, et al., 1997]

Emisiones del lavado de suelos

En el proceso de lavado de suelos, el mayor riesgo de emisiones de contaminantes volátiles se produce durante la excavación, manipulación de materiales, preparación del alimento y procesos de extracción. Los flujos de residuos también tienen el potencial de convertirse en fuente de emisión de COV. El proceso de valorización del disolvente incluye la vaporización del disolvente, así que pueden producirse emisiones aquí y en otras fases del proceso. Los flujos de residuos también tienen el potencial de convertirse en fuentes de emisión de COV, si existen COV en el flujo de residuos. Las emisiones del propio disolvente pueden ser una causa de preocupación en los procesos de extracción de disolvente.

Las zonas de almacenamiento deben estar bajo un determinado control para impedir que se disperse la contaminación, sobre todo polvo. Para los efluentes líquidos, las instalaciones siempre están equipadas con una unidad de tratamiento de suspensiones acuosas, a la que se envía el agua antes de verterla de forma controlada.

El lavado de suelo genera cuatro flujos de residuos: sólidos contaminados separados del agua de lavado, agua residual, lodos del tratamiento del agua residual y sólidos residuales, y emisiones gaseosas.

Parámetro del agua	Concentración (mg/l)
Sólidos en suspensión	60
DBO ₅	25
DQO	350
Nitrito N (NO ₂ -N)	10
P, total	2
Cr, total	0,3
Cu	0,5
Hg	0,005
Ni	0,3
Pb	0,3
Zn	2
Residuos generados por el proceso¹	
Lodos	Lodos minerales
Otras fracciones residuales	Partículas de HAP y óxidos metálicos

¹ Se informó de que el destino de estos residuos es el vertedero.

Tabla 3.67: Emisiones de una instalación que trata suelos contaminados mediante lavado.
 [66, GTT, 2003]

Nota: la capacidad de la instalación es de 68 kt/año.

Emisiones de extracciones de disolventes

De un proceso de extracción de disolvente pueden surgir hasta cinco flujos de residuos: contaminantes concentrados, sólidos, agua residual, desechos extragrandes y emisiones gaseosas tratadas.

Las unidades de extracción de disolvente tienen un diseño de circuito cerrado en el que se recicla el disolvente y se reutiliza. Normalmente, las unidades de extracción de disolvente están diseñadas para liberar cantidades insignificantes de emisiones gaseosas, no obstante se han detectado disolventes en el sistema de ventilación de los gases de escape. Además, pueden producirse niveles considerables de emisiones (en fase de vapor y partículas) durante las actividades de preparación de los residuos, como la excavación y la manipulación de materiales.

Emisiones de los tratamientos de desechos del TGC

La principal preocupación ambiental relacionada con la manipulación, utilización y eliminación de residuos de la combustión es el riesgo de emisión de metales pesados, contaminantes orgánicos y sales. Los principales modos de que ésta se produzca son mediante filtración y emisión de polvo aerotransportado. Puesto que la emisión de polvos aerotransportados puede controlarse de forma relativamente fácil, la lixiviación es el riesgo ambiental más importante. Asimismo, debe tenerse en cuenta que se ha documentado la producción de gas de hidrógeno a partir de los desechos del TGC al entrar en contacto con el agua y este gas puede causar problemas considerables. Su producción depende del almacenamiento de los residuos intermedios del TGC y del tipo, diseño y funcionamiento del vertedero.

Emisiones de los métodos de estabilización

Varios métodos de estabilización tienen un paso de lavado inicial, en el que se extraen la mayor parte de las sales solubles y, en cierta medida, metales antes de que se produzca la fijación de los metales restantes. Estos métodos concluyen con la deshidratación del producto estabilizado, que en ese momento estará listo para ser vertido de forma controlada. Seguidamente, el residuo sólido del lavado genera un agua residual que necesita algún tipo de tratamiento ya que contiene algunos compuestos. Sin embargo, en función de las autoridades locales pertinentes, dicha agua residual generada puede liberarse al medio ambiente o tratarse en la industria química para recuperar algunas sales (por ejemplo, las sales de sodio).

Emisiones de los tratamientos de amianto

Los principales parámetros que convierten en peligrosos al amianto son su naturaleza fibrosa y el tamaño de sus fibras. Durante el tratamiento pueden generarse algunas emisiones.

3.3.3.3 Emisiones del tratamiento de residuos específicos

Hidrogenación de COP

En una instalación canadiense se comprobó que el gas del producto contenía PCB imperceptible, mientras que las concentraciones de clorobenzenos y de dioxinas fueron similares a las de los materiales en bruto. Esto deja entrever que el gas del producto no contenía cantidades cuantificables de esas sustancias. Cuando el gas del producto se quemó en el reformador de vapor, se liberaron dioxinas por la chimenea en una concentración de 15 pg EQT/Nm³. La formación de dioxinas se atribuyó al empleo en el centro de aire contaminado con PCB procedente del aire de combustión del reformador.

Todos los materiales de salida de la destrucción de residuos contaminados con PCB mediante este proceso pueden recogerse y analizarse. No existen emisiones incontroladas en el proceso que puedan liberar aire, sólidos o líquidos contaminados con PCB en los alrededores. Las emisiones de PCB al medio ambiente sólo se producen durante la manipulación de los residuos antes del tratamiento, que es cuando existe la posibilidad de derrame.

Puesto que la reacción tiene lugar en una atmósfera reductora en ausencia de oxígeno, se excluye la posibilidad de que se formen dioxinas y furanos. Si el contenido de hidrógeno (en seco) se mantiene en un porcentaje superior al 50 %, se evita la formación de HAP.

Tipo de residuo	Eficacia de la destrucción (%)	DRE (%)
Aceites con PCB	99,999808 – 99,9999996	99,9999985 – 99,9999997
Clorobencenos	99,9999836 – 99,9999972	99,9999842 – 99,9999985
Dioxinas presentes en los aceites con PCB	99,999 – 99,9999	

Tabla 3.68: Eficacia de la destrucción en los procesos de hidrogenación. [100, PNUMA, 2000]

Si el gas del producto o el aire ambiente utilizado como aire de combustión para la caldera o unidades similares contiene cloruro de hidrógeno u otras especies cloradas, entonces pueden generarse dioxinas durante su combustión. Con el fin de cumplir con los criterios técnicos fundamentales para la destrucción de COP, el gas del producto y el aire de la combustión deben tratarse para eliminar los donantes de cloros y así impedir la formación de dioxinas.

Debe actuarse con cuidado para evitar que se generen grandes cantidades de gas, que podrían someter a los sistemas a una sobrepresión. El proceso tiene una capacidad de compensación limitada, y durante la liberación de los residuos podría producirse una sobrepresurización.

Durante el funcionamiento habitual, se quema desde el 30 % al 50 % del gas del producto como combustible para la caldera u otra unidad auxiliar.

Entre los residuos que se generan en el proceso se incluyen el gas del producto procedente del reactor, lodos y agua de la depuración en el tratamiento del gas del producto, y pequeñas cantidades de arenisca procedentes del reactor. El gas del producto se reforma catalíticamente para recuperar el hidrógeno o se quema como combustible en uno o más de los sistemas auxiliares, a saber la caldera, reformador catalítico o vaporizador por lotes secuencial.

Hidrogenación de PCB y COP

Todas las emisiones y residuos se recogen para analizarlas y reprocesarlas, si fuera necesario. Las tasas de destrucción oscilan entre el 99,9 % y el 99,99999 % en los centros que trabajan a escala comercial en Australia.

Oxidación supercrítica del agua

Los residuos del proceso normalmente están compuestos de agua, gas (menos de 10 ppm de CO, cantidades muy bajas de óxidos de nitrógeno, gases ácidos como el cloruro de hidrógeno u óxidos de azufre y partículas) y sólidos, si los residuos contienen sales inorgánicas o compuestos orgánicos con halógenos, azufre o fósforo. Los residuos generados durante el proceso como las cenizas y salmuera deben eliminarse.

3.3.4 Residuos salientes de los tratamientos físico-químicos

Una gran cantidad de los residuos salientes de estos procesos se envían al vertedero.

Aguas residuales

El principal flujo másico de las instalaciones de tratamiento físico-químico es el agua residual, que corresponde aproximadamente al 85-95 % de la masa de los residuos tratados. La calidad del agua residual de las instalaciones de tratamiento físico-químico la supervisan regularmente las autoridades de control y también se supervisan dentro de un marco de autocontrol. Gracias a esta actividad de supervisión, existen muchos datos sobre la composición del agua residual de las instalaciones de tratamiento físico-químico.

Parámetros de las emisiones al agua	Intervalo de valores de la media anual (ppm)	Valores de la descarga anual (kg/año)
pH	6,9 – 10,4	
Conductividad eléctrica	1150 – 13.500 µS/cm	
Transparencia (vista de fondo)	10 – 47 cm	
Sólidos en suspensión	<0,5 – 32 <0,1 – 2,1 ml/l	<0,6
COT	2200 – 3800	38.061
DBO	5 – 2490	
DQO ¹	200 – 17870	
Hidrocarburos	<0,1 – 19,8	89
Detergentes (aniónicos)	0,6 – 14,8	
Aceite mineral	5 – 10	
Índice de fenoles	0,8 – 25	317
AOX	<0,01 – 0,7	9
EOX	<0,1 – 0,5	
BTX	<0,1 – 1,2	10
Cl	3975 – 35.420	
Cl libre	<0,1 – 0,3	
CN	<0,1 – 0,6	<1
CN libre	<0,01 – 0,1	
F	0,5 – 8,6	
N - orgánico	109 – 440	
N - total	8,4 – 590	
NH ₃ -N	22 – 1330	
Nitrato-N	0,9 – 472	
Nitrito-N	0,90 – 10,2	38
P – total	<0,1 – 14,75	
Sulfato	65 – 3630	
Sulfuro	1012	
Sulfuro libre	<0,1 – 0,77	<1
Al	<0,1 – 5	63
As	<0,01 – 0,1	<0,1
Cd	0,0004 – 0,1	
Co	≤ 0,1	
Cr total	0,05 – 0,3	3,8
Cr (VI)	<0,01 – 0,1	<1
Cu	<0,1 – 0,4	2,5
Fe	0,2 – 20	253
Hg	0,0001 – 0,02	<0,02
Mn	<0,1 – 2,7	
Ni	0,05 – 1,4	3,8
Pb	<0,02 – 0,7	<1
Se	<0,1 – 0,5	
Sn	<0,1 – 0,4	
Zn	<0,1 – 3,9	12

Notas: los intervalos se construyeron a partir de varios conjuntos de datos de emisiones. Datos basados en los datos de los operadores de las instalaciones de tratamiento físico-químico con una capacidad total de 850 kt/año. Los datos corresponden al año 2001. La antigüedad media de las instalaciones es de 17 años aproximadamente (con valores comprendidos entre los 4 y 39 años). Aproximadamente el 84 % (desde el 73 al 91 %) de las instalaciones de tratamiento físico-químico de residuos que se observaron pueden incluirse en los grupos 11, 12, 13, 16 y 19 de la LER. Otro conjunto de datos corresponde a los centiles 20/80 de los valores medios anuales para algunas instalaciones de tratamiento físico-químico y otro a los valores mínimo/máximo medidos en instalaciones de tratamiento desmenuzante (datos obtenidos entre 1994 y 1999).

¹ Algunos datos se refieren a la fracción de la DQO disuelta y otros a la DQO total.

Tabla 3.69: Residuos salientes del tratamiento físico-químico de las aguas contaminadas. [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [134, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [156, VROM, 2004], [157, UBA, 2004]

En la tabla 3.70 se muestran los materiales de salida de una instalación de tratamiento de barnices.

Material	Cantidad (t/año)	Composición (mg/kg)
Material seco	10.000	PCB <0,05
		BTEX 104,8
		As <1
		Cd 6,7
		Cr total 77
		Cu 905
		Hg 0,25
		Ni 43
		Pb 339
		Tl <0,5
		Cianuro total 6200
Agua del proceso orgánico	2000	Cd <0,5 Hg <0,5 Zn 1,7
Disolvente recuperado	13.000	

Tabla 3.70: Residuos salientes del tratamiento físico-químico del agua contaminada en el tratamiento de disolventes y coágulos de barnices.
[135, UBA, 2003]

La tabla 3.71 muestra los valores de emisión alcanzados tras pulir el efluente, por ejemplo, mediante filtración en arena o filtros de intercambio iónico.

Compuesto	Concentración (mg/l de agua residual) (muestras de 24 horas)
Cianuros libres	1,0/0,2
COV halogenados	0,1
Aceite mineral	200 (muestra aleatoria)
Ag	1,0/0,1
Cd	0,2
Cr (total)	1,0/0,5 ¹
Cr(VI)	0,1
Cu	2,0/0,5
Ni	2,0/0,5
Pb	2,0/0,5
Sn	3,0/2,0
Zn	2,0/0,5

¹ Estándares para metales liberados (Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) <200 g/día y >200 g/día.

Tabla 3.71: Valores de emisión alcanzados tras pulir el efluente, por ejemplo, mediante filtración en arena o filtros de intercambio iónico.
[156, VROM, 2004]

Lodos y sólidos residuales

El material final tras la estabilización/solidificación tendrá una composición de metales similar y un contenido orgánico igual al del residuo original. No obstante, el material final presenta una toxicidad y una solubilidad de metales y de compuestos orgánicos menor que el residuo original.

En el anexo a la Directiva sobre vertederos (1999/31/CE) se recogen los criterios y procedimientos para la aceptación de residuos en los vertederos. Los criterios contienen algunos valores límite para la aceptación de residuos peligrosos en diferentes tipos de vertederos. Éstos

se basan en los valores límite de lixiviación y restringen algunos parámetros de metales, aniones y compuestos orgánicos.

La permeabilidad del agua estabilizada depende de muchos parámetros (por ejemplo, la naturaleza del residuo, naturaleza y cantidad de reactivo añadido, objetivos previstos), así que los valores de permeabilidad oscilan entre los 10^{-9} y los 10^{-12} m/s.

Escoria/cenizas de fondo inmovilizadas

En general, existen varias posibilidades para reutilizar la ceniza de fondo tras el tratamiento. Cuando los valores de la escoria no se ajustan a los parámetros definidos, se reutiliza la escoria con medidas técnicas de seguridad definidas, si es posible. En la tabla 3.72 y a continuación se muestran algunos ejemplos de reutilización:

- utilizada en construcciones de calles y carreteras. Las cenizas de fondo se utilizan como base sólida para la construcción de por ejemplo, aparcamientos y zonas portuarias. Sin embargo, se precisa una capa impermeable que se extienda sobre el fondo de la capa de cenizas para evitar lixivitaciones, esta capa puede ser de asfalto o de hormigón;
- utilizada en obras de terrenos, por ejemplo terraplenes o muros de protección frente a ruidos. Es importante que el área en donde se utilice la ceniza de fondo tenga unas condiciones hidrogeológicas favorables. Esto implica que debe haber una capa de 2 metros de arcilla o de limo que proteja el agua subterránea frente a reacciones adversas. Además, debe haber una superficie mineral impermeable ($d > 0,5$ m y $k_f < 10^{-8}$ m/s),
- utilizada en importantes zonas de gestión hídrica y en zonas hidrogeológicamente sensibles, y sujeta a excepciones en casos individuales.

Vías de reutilización de la escoria/ceniza de fondo	%
Anticongelante	27
Material de relleno	22
Subestructura de grava	11
Mejora del terreno	9
Construcción de presas/marcos bases	5
Consolidación del terreno	5
Muros de protección frente al ruido	3
Paisajismo	1
Construcción de carreteras y calles	1
Otros	16

Tabla 3.72: Vías de reutilización de la fracción mineral de la ceniza de fondo tratada en Alemania. [150, GTT, 2004]

La tabla 3.73 y 3.74 muestran los parámetros de las cenizas de fondo tras un proceso de tratamiento físico-químico.

Metales	Mínimo	Media	Máximo
As	0	0,074 – 0,15	0,187
Cd	0,0008	0,0037 – 0,01	0,0167
Cr	0,067	0,172 – 0,6	0,726
Cu	0,150	0,6 – 6,826	29,781
Hg	0	0,01 – 0,07	0,37
Ni	0,023	0,165 – 0,6	0,661
Pb	0,19	1 – 1,222	4,063
Tl	0		
Zn	0,470	1,5 – 2,970	14,356

Unidades: en g/kg, salvo el Hg que está en mg/kg.
El cero en esta tabla significa que el valor se encuentra por debajo del límite de detección.

Tabla 3.73: Composición metálica de la ceniza de fondo tratada después del tratamiento físico-químico (análisis de sólidos) [89, Alemania, 2003], [150, GTT, 2004]

Sustancias químicas	Mínimo	Media	Máximo
Cl	29		
Sulfatos	43		
CN total	0		
Índice de fenoles	0		
As	1,3	5,3	16,1
Cd	0	0,8	5
Cr	0	15,2	200
Cu	0	60,7	300
Hg	0	<0,2	1
Ni	0	2,9	40
Pb	0	11,4	59,0
Tl	2		
Zn	0	19,4	300
Unidades en µg/l. El cero en esta tabla significa que el valor se encuentra por debajo del límite de detección.			

Tabla 3.74: Análisis de la calidad de las cenizas de fondo tras el tratamiento físico-químico (análisis del eluido).

[89, Alemania, 2003], [150, GTT, 2004]

Residuos salientes de una unidad clásica de lavado de suelos

Normalmente, las unidades de lavado de suelos producen materiales reciclados aptos para la industria de la construcción (fabricantes de hormigón, plantas de asfalto, etc.) o que sirven como materiales de relleno tras someterse a un control de calidad interno y a un análisis externo de las propiedades específicas de los materiales (con el objeto de asegurar que se ajusta a la normativa local).

Pueden distinguirse varias fracciones:

- fracción gruesa: grava que puede calibrarse de diversas maneras. Está formada básicamente por gravas finas que miden entre 2 y 20 mm y gravas gruesas que miden entre 20 y 80 mm;
- fracción arenosa: compuesta de arena que normalmente mide entre 60 µm y 2 mm;
- fracción orgánica residual (>60 µm): esta fracción es incinerada o enviada a un vertedero apropiado;
- fracción residual fina (torta de filtración <60 µm): esta fracción normalmente se envía a un vertedero especial con o sin tratamiento adicional (por ejemplo, inertización, estabilización) o se envía a un tratamiento posterior, si fuera necesario (por ejemplo, desorción térmica o incineración clásica).

	Capacidad (t/año)
Residuos entrantes	68.000
Residuos salientes	50.500
Arena	36.000
Grava	13.000
Fracción fina	1500

Tabla 3.75: Residuos salientes de una instalación para el tratamiento de suelos contaminados mediante lavados.

[66, GTT, 2003]

Residuos salientes procedentes de una excavación

Se ha comprobado que las excavaciones reducen el contenido en humedad del suelo y la densidad en masa seca del suelo. Los datos muestran que la fracción acuosa disminuye entre un 35% y un 56 % y que la densidad de carga seca del suelo disminuye un 13 %.

Residuos salientes del secado térmico

El residuo seco del tratamiento de los botes de aerosol se separa en acero y aluminio residual antes de su fundición. Estas fracciones metálicas cumplen con todos los criterios de aceptación en las acerías. Los condensados del proceso de secado se componen de mezclas complejas de disolventes que pueden utilizarse térmicamente o puede que tengan que ser incinerados. Cuando se tratan botes de aerosol defectuosos sin usar, puede negociarse por adelantado con el fabricante la posibilidad de reciclar los disolventes contenidos.

Residuos salientes de una instalación de tratamiento de CFC

La tabla 3.76 muestra datos de los productos obtenidos mediante la desintegración de los disolventes de CFC.

Parámetros	Unidad	Valor pretendido	Valor real
Contenido acuoso	ppm	<50	34
Contenido oleico	ppm	<100	60
Contenido en aminas	ppm	<100	10
Ácido	ppm	<1	0,03
Halógenos	%-vol	<0,1	0,004
PCB y PCT	%-vol	0	0

Los datos de una instalación de destilación de CFC recogidos en la figura 2.11 se muestran en el apartado 2.3.5. Esta instalación de tratamiento convierte los CFC en ácido hidroclicórico y ácido hidrofluórico.

Tabla 3.76: Datos de los productos desintegrados de los CFC.
[147, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

3.4 Emisiones y consumos de los tratamientos de residuos aplicados principalmente para valorizar los materiales de los residuos

[6, Silver Springs Oil Recovery Inc., 2000], [13, Marshall, et al., 1999], [14, Ministry for the Environment, 2000], [29, UK Environment Agency, 1996], [41, R.U., 1991], [42, R.U., 1995], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [66, GTT, 2003], [86, GTT, 2003], [96, Straetmans, 2003], [125, Ruiz, 2002], [129, Cruz-Gomez, 2002], [147, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [156, VROM, 2004], [157, UBA, 2004]

En este apartado se estudian las emisiones y consumos de los tratamientos mencionados en el apartado 2.4. Los siguientes apartados (apartados 3.4.X) ofrecen datos para los operadores de los centros de TR tomados por sus actuales sistemas de registro y señalan las zonas en donde es probable que se produzcan las emisiones. La estructura de los siguientes subapartados es la misma que la seguida en el apartado 2.4. En el apartado 3.1 se tratan las emisiones relacionadas con los tratamientos auxiliares, por ejemplo, el funcionamiento de las estaciones de transferencia.

3.4.1 Residuos entrantes tratados para obtener un material reciclado

Cuando el objetivo es obtener materiales útiles y no sólo material para ser eliminado, el tratamiento al que se somete cada tipo de residuo será muy específico y buscará convertir el residuo en el producto final deseado.

Aceites usados

Los aceites tienen múltiples usos, se utilizan por ejemplo como combustibles, lubricantes, fluido de transferencia de calor, líquidos para cuchillas y líquidos para maquinaria hidráulica. Todos tienen sus propias características, que dependen normalmente de los hidrocarburos que se producen en un intervalo específico de puntos de ebullición durante la destilación del petróleo crudo. Los aceites que deban permanecer estables a altas temperaturas no tendrán grandes cantidades de hidrocarburos de bajo punto de ebullición, mientras que los utilizados como combustible presentan con mayor frecuencia estas mezclas de hidrocarburos de bajo punto de ebullición.

Antes de comercializarse, la mayoría de los aceites de base producidos en las refinerías se combinan con una variedad de aditivos para conferirles las propiedades deseadas. El conjunto de aditivos normalmente equivale a una cantidad comprendida entre el 5 % y el 25 % del aceite de base. No obstante, probablemente al menos la mitad del conjunto de aditivos es aceite de base utilizado como disolvente. Los aceites lubricantes contienen una gran cantidad de aditivos, pero sus fórmulas son en la mayoría de los casos secretos comerciales. Los datos sobre los componentes y aditivos en los nuevos aceites se recogen en la ficha técnica de seguridad que acompaña a los nuevos productos, aunque los datos precisos de las formulaciones son propiedad de la compañía. Los aceites hidráulicos contienen muy pocos aditivos.

En la tabla 3.77 se muestran algunas clases generales de aditivos que se han identificado. La información no es específica, pero permite pensar que se utilizan varios aditivos metálicos, algunos compuestos orgánicos clorados, hidrocarburos aromáticos, compuestos fenólicos y diferentes tipos de polímeros.

Aditivo	Compuestos utilizados
Anticorrosivo	Ditiofosfatos de cinc, fenolatos metálicos, ácidos grasos y aminas.
Antiespumante	Polímeros de silicona, copolímeros orgánicos.
Antioxidante	Ditiofosfatos de cinc, fenoles impedidos, aminas aromáticas, fenoles sulfurados.
Antidesgaste	Ditiofosfatos de cinc, fosfatos ácidos, compuestos de azufre y cloro orgánicos, grasas sulfuradas, sulfuros y disulfuros.
Detergente	Compuestos metalorgánicos de sodio, fenolatos de calcio y magnesio, fosfonatos y sulfonatos.
Dispersante	Alquilsuccinimidas, ésteres alquilsuccínicos.
Modificador de la fricción	Ácidos grasos orgánicos, grasa, fósforo.
Desactivador metálico	Complejos orgánicos que contienen aminas nitrogenadas y sulfuradas, sulfuros y fosfitos.
Reductor del punto de fluidez	Naftaleno alquilado y polímeros fenólicos, polimetacrilatos.
Sellador	Fosfatos orgánicos, hidrocarburos aromáticos.
Modificador de la viscosidad	Polímeros de olefinas, metacrilatos, estirenos alquilados o dienos.

Tabla 3.77: Tipos de aditivos utilizados en los lubricantes. [67, DETR, 2001]

Los aditivos deben permanecer en el aceite durante toda su vida útil. Así si a una temperatura normal de funcionamiento del motor se espera que se volatilice una sustancia individual, debe haber otro aditivo incorporado que lo retenga en la formulación.

Este requisito de mantener los aditivos y los productos de descomposición en circulación para aumentar la vida útil del aceite crea uno de los puntos discutibles de las emisiones del aceite usado. A pesar de que muchos componentes son sólidos a temperatura ambiente y es razonable pensar que se decantarán e irán a parar a los lodos, los dispersantes del aceite impiden que esto ocurra. Los filtros retiran de los motores los sólidos de mayor tamaño.

Mientras se usa, la composición del aceite propiciará, debido a la descomposición de los aditivos, la formación de productos adicionales de la combustión y combustibles sin quemar, así como la aparición de metales por el desgaste natural del motor y por la descomposición del propio aceite de base.

Los grandes centros de tratamiento reconocen que existe una serie de especies en el aceite usado, y por esta razón analizan el punto de inflamación y los niveles de metales y cloruros de los residuos entrantes. Existen escasos datos analíticos de los residuos entrantes, no obstante los datos de unos pocos centros mostraron que la industria prevé una alta concentración de metales y la contaminación por parte de los disolventes inflamables, y ofrecen un punto de inflamación apreciable.

Los aceites usados de lubricantes recogidos por los usuarios de grandes volúmenes pueden someterse a un control más estrecho y, por tanto, pueden tener una composición más constante.

Tipo de residuos que contienen aceites usados	Comentario
Filtros de aceite	No se ha encontrado ningún análisis específico, pero se sabe que contienen aceites de motores además de residuos de sólidos de gran tamaño formados en los motores y que han quedado atrapados en el filtro. También están el plástico y los metales del filtro. Los metales suelen reciclarse.
Bidones de acero de 205 litros	Aceite usado y acero
Bidón de 25 litros	Aceite usado y plásticos
Aceite de motor usado a granel	El aceite de motor usado es el principal residuo procesado en los centros autorizados para el tratamiento de residuos. La mayoría de las emisiones se deben a este material.

Tabla 3.78: Tipo de residuos que contienen aceites usados.
[56, Babbie Group Ltd, 2002]

No se han realizado análisis exhaustivos de los aceites usados que entran en las instalaciones de tratamiento. No obstante, la tabla 3.79 y 3.80 de abajo muestran los datos recopilados sobre los compuestos químicos que normalmente existen en los diferentes tipos de aceites usados. En realidad, no se espera que todos los aceites usados registren valores comprendidos en los intervalos mencionados en estas dos tablas.

Componentes de los aceites usados	Valores máximos y mínimos de concentración (ppm)	Origen/comentarios
Al	4 – 1112	Desgaste de los cojinetes o motor.
Alquilbencenos	900	Aceites con base de petróleo.
Compuestos aromáticos	14 – 30 peso-%	Para aceite de motor usado, éstos proceden del aceite con base de lubricante.
Compuestos alifáticos	65,4 peso-%	Los n-alcenos constituyen aproximadamente el 0,4 % del aceite usado, aunque la distribución se inclina hacia moléculas más largas que son más difíciles de evaporar: <ul style="list-style-type: none"> • tetralina 0,0012 % • dodecano 0,014 % • tridecano 0,014 % • octadecano 0,07 % • nonadecano 0,2 %
Anticongelante		
As	<0,5 – 67	
Contenido en cenizas	0,4 – 0,64 ¹	
Ba	50 – 690	Aditivos detergentes, conjunto de aditivos.
BTEX	300 – 700	Un análisis de la composición mostró un elevado número de hidrocarburos de cadena corta (benceno 0,096-0,1 %), xilenos (0,3-0,34 %) y tolueno (0,22-0,25 %), con puntos de ebullición inferiores a 150 °C.
Ca	900 – 3000	Aditivos detergentes.
Cd	0,4 – 22	
Cl	184 – 1500 ²	Los cloruros en aceites usados de lubricantes proceden de: <ul style="list-style-type: none"> • contaminación (accidental o deliberada) con disolventes clorados y aceites para transformadores, aunque actualmente ambos están mucho más controlados; • aditivos lubricantes; • retirada del plomo añadido a la gasolina con plomo; • se usa como aditivo de flujo en frío.

Componentes de los aceites usados	Valores máximos y mínimos de concentración (ppm)	Origen/comentarios
Hidrocarburos clorados	37 6300 18 – 2800 18 – 2600 3 – 1300	diclorodifluorometano triclorotrifluoroetano tricloroetanos tricloroetileno percloroetileno Los aceites usados de lubricante tienen un contenido importante, pero variable, de cloruros, entre los que se incluyen los organocloruros como el PCB, diclorodifluorometano, triclorotrifluoroetano, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno y tetracloroetileno. Pueden formarse químicamente durante el uso del aceite contaminado.
Cr	2 – 89	Desgaste del motor.
Cu	<11 – 250	Desgaste de los cojinetes.
Resoplado del motor	8 – 10 peso-%	Gas, gasolina y gasóleo absorbido. En la composición del aceite usado se incluyen una serie de «productos de la descomposición térmica».
Fe	100 – 500	Desgaste del motor.
Haluros	Hasta 500	
Hidrocarburos pesados		Proceden de la polimerización y de la combustión incompleta del combustible.
Hg	0,05 – <11	
Hidrocarburos ligeros	5 – 10 peso-%	Un cantidad específica de combustible sin quemar (gasolina o gasóleo) se disuelve en el aceite y también proceden de la descomposición del aceite.
Aceite lubricante	Hasta el 95 peso-%	Los principales compuestos son los hidrocarburos nafténicos y alifáticos o los polímeros de olefina (por ejemplo, polibutenos y polialfaolefinas en algunos aceites lubricantes) También se encuentran pequeñas cantidades de hidrocarburos poliaromáticos y aromáticos. El contenido en metales pesados es inferior a 500 ppm. Puede que haya fenoles, pero en escasa proporción.
Metales como el Al, As, Ba, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Sb, Si, Sr, Ti, V y Zn	Hasta 10.000 sumados	Proceden de los aditivos lubricantes, desgaste del motor y fuentes externas. Aparecen en aceites usados como aditivos dentro de los aceites lubricantes, procedentes del desgaste natural de los motores y con aceites de maquinaria. Los aditivos (sobre todo los metales) permanecen normalmente en el aceite tras su uso.
Mg	100 – 500	Aditivos detergentes.
Ni	10	Desgaste del motor.
Naftalenos	9,7 – 470 – 2300 ⁴	Procedentes de aceites de base.
Compuestos nitrogenados		Procedentes de la adición de compuestos nitrogenados.
Compuestos no relacionados con los lubricantes		A menudo los aceites usados de lubricante se contaminan con todo tipo de materiales, generalmente por una mala separación/recogida. Los materiales que pueden aparecer son líquido de frenos y anticongelante, aceites vegetales, paquetes de cigarrillos, disolventes, etc.
P	6 – 1000	Aditivos antidesgaste/antioxidantes.
HAP	30,3 – 204 – <1000 ⁴ La suma de 26 HAP representan el 0,17 % del aceite o el 1,2 % de la fracción aromática	Entre los compuestos aromáticos se encuentra una gran variedad de HAP en concentraciones de hasta 700 ppm de una especie individual. Proceden de los aceites de base y de la combustión incompleta. Algunos son el benzantraceno (0,87-30 ppm), benzopireno (0,36-62 ppm), pireno (1,67-33 ppm), naftaleno (47 ppm), bifenilo (6,4 ppm) y también compuestos poliaromáticos clorados.

Componentes de los aceites usados	Valores máximos y mínimos de concentración (ppm)	Origen/comentarios
PCB	<0,5 – 11 – <50	Según la Directiva sobre aceites usados, el contenido máximo de PCB permitido en los aceites usados de lubricante que deben tratarse antes de ser eliminados es de 50 ppm. Se produce por la contaminación con aceites para transformadores.
Pb	8 – 1200 Hasta 14.000 cuando se emplea gasolina con plomo	Gasolina con plomo/desgaste de los cojinetes.
S	0,1 – 2,8 peso-%	Procedente de aceites de base y productos de la combustión.
Sedimentos	0,5 – 2 peso-%	Hollín y sedimentos procedentes de la cámara de combustión, metales libres y tierra. La formación de sedimentos aumenta por la mezcla de aceites usados de lubricante de conjuntos de aditivos de diversos fabricantes y fuentes de recogida.
Si	50 – 100	Aditivos/agua.
Sn	Cantidades de trazas	Desgaste de los cojinetes.
Tl	0,1	
V	300	Procedentes de aceites de base.
Agua	5 – 10 peso-% ³	Combustión.
Zn	6 – 4080	Aditivos antidesgaste/antioxidantes.

Nota: no se pueden añadir cifras para que concuerden perfectamente ya que corresponden a diferentes conjuntos de datos.

¹ Ambos valores límites son valores medios.

² Hasta 8452 ppm en aceites usados de lubricantes debido a la contaminación con disolventes clorados y sal marina procedente de los líquidos de los desechos de los barcos.

³ Hasta un 30 %.

⁴ Cuando aparecen tres números en el intervalo, el número del medio corresponde al valor medio.

Tabla 3.79: Lista indicativa de los compuestos presentes en los aceites usados de lubricantes. [4, Langenkamp, 1997], [5, Concawe, 1996], [6, Silver Springs Oil Recovery Inc., 2000], [14, Ministry for the Environment, 2000], [37, Woodward-Clyde, 2000], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [42, R.U., 1995], [150, GTT, 2004]

Aceites industriales usados

En la industria se emplean una variedad de aceites, entre los que se incluyen aceites solubles y algunos halogenados, aunque estos últimos cada vez se emplean menos. El aceite se emplea para sistemas hidráulicos, como lubricante, fluido de transferencia de calor, fluido de electricidad y líquido para cuchillas.

Los aceites solubles y para maquinaria son muy comunes, pero hasta el momento no existen datos de su composición. Muchos de estos aceites industriales se someten a un intenso proceso interno de reciclaje para prolongar su vida útil, y estos sistemas internos retiran y recuperan la mayoría de los metales contaminantes asociados con la trituración. En ausencia de otros datos, se realizaron las siguientes suposiciones:

- estos aceites se utilizan en sistemas abiertos. Sus formulaciones no incluyen hidrocarburos volátiles o con un bajo punto de ebullición debido al riesgo de incendios y a los riesgos para la salud que producen durante su uso, y debido a la necesidad de conservar las características del producto durante su uso. Se agitan durante su uso y retiran el calor en exceso de las superficies de las máquinas, de ahí que durante su uso se calienten por encima de la temperatura ambiente. Por consiguiente, las emisiones de COV durante el tratamiento de residuos son normalmente muy pequeñas;
- el contenido metálico variará considerablemente según la fuente. Los principales metales con los que se trabaja son el cobre, cinc, níquel y cromo.

	Concentración	Motivo
Cadmio	50 % de concentración en aceite lubricante o 0,000155 %	Actualmente el cadmio se está retirando de forma progresiva de la fabricación.
Cromo	100 % de concentración en aceite lubricante o 0,0028 %	Habitual: se usa normalmente en el mismo nivel que en el aceite de motor.
Cobre	100 % de concentración en aceite lubricante o 0,025 %	Habitual: se usa normalmente en el mismo nivel que en el aceite de motor.
Plomo	0	No existe un motivo particular para mecanizarlo.
Naftaleno	0,0042 %	No existe ningún tipo de dato. El naftaleno se encuentra en todos los tipos de aceites, aunque se cree que la formulación tendrá la menor cantidad posible (tomado del gasóleo n.º 6), ya que se encontraría en estado sólido a temperatura ambiente y no parece añadir nada químicamente útil a la formulación.
Níquel	0,0028 %	No existen datos para los aceites lubricantes.
PCB		Hallado en aceites refrigerantes para transformadores.
Xilenos	0,22 %	
Cinc	50 % de concentración en aceite lubricante o 0,029 %	Compuesto común para maquinarias, aunque parece ser un aditivo importante en los aceites lubricantes.

Tabla 3.80: Concentraciones estimadas de metales en los aceites usados de la industria. [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003]

Los aceites eléctricos son aceites especiales que se someten a un proceso de lavado, de forma que apenas producen residuos. La principal preocupación con estos aceites es el riesgo de contaminación con PCB. Normalmente, las instalaciones de tratamiento de residuos analizan los aceites en búsqueda de PCB.

Agua oleosa de los interceptores

La mayoría de los residuos de los interceptores proceden de los aparcamientos de coches y áreas de servicio para vehículos. Así es razonable pensar que tendrá un contenido parecido al del aceite de motor y que, no obstante, contendrá sedimentos adicionales, probablemente partículas del desgaste de los neumáticos, productos de la combustión de los combustibles y alquitrán de la construcción de carreteras. El combustible derramado lo recogerá el interceptor, pero todas las sustancias evaporables a temperatura ambiente se evaporarán antes de que las recoja el interceptor.

Un porcentaje de los aceites de los interceptores proceden de las fábricas y de los aceites industriales usados recogidos. Éstos tendrán concentraciones muy inferiores de productos de la combustión, pero puede que presenten mayores concentraciones de metales en función de la aplicación industrial.

Disolventes residuales

Los siguientes sectores industriales pueden generar disolventes residuales:

- pinturas, revestimiento y quitapinturas;
- tintas;
- industria química y farmacéutica;
- fabricación de películas;
- fabricación de fibras sintéticas;
- soluciones de caucho, plástico y resina;

- disolventes para desengrasar;
- disolventes para la limpieza en seco;
- para productos agrícolas;
- dosificadores y botes de aerosol.

Los residuos que se consideran disolventes se incluyen fundamentalmente en los códigos 07, 08, 09 y 14 de la LER. Existen cuatro clases principales de mezclas de disolventes que convierten al disolvente en inutilizable y propician su recuperación. Éstas son:

- mezcla con aire. Esto normalmente se produce cuando se ha utilizado el disolvente para disolver resinas o polímeros que aparecen al evaporar el disolvente. Su valorización puede ser complicada porque el disolvente puede reaccionar con un adsorbedor de carbón o porque es difícil de recuperar del vapor utilizado para desorberlo;
- mezcla con agua. Si se produce en un proceso con disolvente o en alguna parte de la recuperación del disolvente, es habitual encontrar el disolvente contaminado con agua. La retirada del agua es sencilla en muchos casos, pero en otros casos es tan complicada que resulta económicamente inviable devolver la pureza al disolvente. Siempre debe tenerse en cuenta que es probable que el agua retirada en un proceso de recuperación de disolvente se haya liberado como efluente y que, por tanto, su calidad sea considerable;
- mezcla con un soluto. A menudo se consigue retirar un producto deseado de una mezcla mediante filtración. La función del disolvente en este caso es la de disolver de forma selectiva las impurezas (materias primas sin reaccionar y los productos de las reacciones secundarias no deseadas) en una fase líquida de baja viscosidad, con un poder disolvente muy bajo para el producto. La elección del disolvente con frecuencia es limitada, aunque se pueden conseguir mejoras importantes en la estabilidad química del disolvente si se mueve arriba o abajo en una serie homóloga sin sacrificar la selectividad del sistema disolvente. Una contaminación por soluto menos sofisticada se produce durante la limpieza de las instalaciones, en la que el poder disolvente de todos los contaminantes es de primera importancia, y en la que la miscibilidad del agua, para permitir la limpieza y secado en una única operación, también es una propiedad importante;
- mezclas con otros disolventes. Un proceso multifásico como el que se lleva a cabo normalmente en las buenas industrias farmacéuticas y químicas puede que conlleve la adición de reactivos disueltos en disolventes y disolventes fundamentales para el rendimiento o incluso para la existencia de la reacción deseada.

Aceites vegetales usados

Aceites de cocina procedentes de hoteles y restaurantes.

Catalizadores residuales

Los catalizadores agotados que pueden regenerarse ex situ son:

Catalizadores metálicos

Por ejemplo, catalizadores de platino-alúmina que pueden regenerarse al retirar los depósitos carbonáceos de la superficie del catalizador mediante un proceso preciso de combustión controlada, seguido de una redispersión del platino y reclusión del soporte catalítico.

Catalizador de metales nobles

Éstos pueden regenerarse si se retiran los depósitos de coque hasta restaurar la actividad, selectividad y estabilidad del catalizador original fresco. Los depósitos de coque se eliminan mediante combustión controlada.

Catalizadores metálicos de base

Los catalizadores para el hidrogenado pueden regenerarse utilizando diferentes métodos como el tratamiento de oxidación regenerativa para eliminar el coque (regeneración ex situ) o la redispersión de metales en el caso de envenenamiento al sinterizar metales.

Ceolitas

Pueden regenerarse de forma relativamente fácil mediante métodos como el calentamiento para eliminar los materiales adsorbidos, intercambio de iones con sodio para eliminar cationes, o un cambio de presión para retirar los gases adsorbidos. Sin embargo, no se regeneran ex situ porque su estructura está, en la mayoría de los casos, dañada y según la aplicación los poros pueden estar contaminados con metales pesados u otros venenos.

Carbón activo usado

La mayoría de las instalaciones industriales suelen enviar el carbón agotado fuera de las instalaciones para que lo regenere un gran fabricante centralizado de carbón. Las cantidades regeneradas de carbón agotado procedentes de fuentes industriales (textiles, productos de refinerías, fábricas de alfombras, industria del plástico, resinas fenólicas, herbicidas, explosivos, detergentes, disolventes, tintes), aunque son razonablemente relevantes, no se acercan a las obtenidas por la purificación del agua potable. Tras consultar con varios regeneradores de carbón, parece que el tratamiento de agua ofrece la mayor fuente única de carbón agotado. Los sistemas de adsorción del carbón activo pueden utilizarse para una gran variedad de aplicaciones, y existe el riesgo de que contengan un cóctel de contaminantes adsorbidos. Los contaminantes que normalmente se encuentran en el carbón agotado son:

- cloruro;
- DQO/DBO;
- pesticidas;
- compuestos orgánicos para graneles que confieren color, sabor u olor (por ejemplo, ácidos húmicos);
- compuestos orgánicos en general como el fenol;
- metales como el hierro, aluminio, cadmio y mercurio;
- elementos inorgánicos como el calcio y el fósforo;
- tintes (colorean);
- detergentes;
- fenoles;
- explosivos (sólo en materiales procedentes de la fabricación de explosivos).

Los productos del carbón activo se encuentran básicamente en tres formas: carbón activo extruido, carbón activo granular y carbón activo en polvo. La última forma no se regenera.

Resinas iónicas usadas

Una gran proporción de las resinas vendidas en todo el mundo se utilizan en el tratamiento de aguas (por ejemplo, en el ablandamiento del agua). El resto se utiliza en procesos químicos, metalurgia extractiva, y procesos farmacéuticos y alimentarios.

Las resinas de intercambio iónico pueden concentrar iones tóxicos como los cromatos y cianuros, o metales pesados. Debido a la predominancia de las aplicaciones del agua, también pueden contener pesticidas, cloruros, fenol y elementos inorgánicos como el calcio, sodio, manganeso y fósforo.

Las resinas de intercambio iónico convencionales tienen forma de cuentas y se comportan como un cojinetes de bolas de plástico cuando se utilizan. Poseen sitios ión-activos a lo largo de su estructura, presentan una actividad distribuida uniformemente y normalmente pueden resistir roturas producidas durante su manipulación o por un choque osmótico (por ejemplo, cambio rápido en el entorno de la solución). La mayoría de las cuentas se venden con un tamaño comprendido entre los 40 µm y los 1,2 mm.

Tratamiento de los residuos fotográficos líquidos

Parámetro	Concentración (mg/l)	
Hidrocarburos	6000	Emisión en el paso de evaporación (residuo del procesado de fotos en color).
EOX	10	
Inhibición de la respiración	5 %	
Metales (Zn, Ni, Pb, Cr, Mo)	50	
Ag	50/100	Residuo del procesado de fotos en color, y en blanco y negro.
Cd	1,0	
Cu	25	
Hg	1,0	

Tabla 3.81: Criterios de aceptación para residuos de líquidos fotográficos desplateados y aguas residuales similares (sometidas a una misma vía de procesado). [156, VROM, 2004]

3.4.2 Consumos de los tratamientos de residuos para obtener un material reciclado

Consumos en el rerrefinado de aceites usados

Aparte del transporte, el principal gasto operativo corresponde a la generación de vapor para calentar el aceite usado.

Proceso	Compuestos usados en el proceso	Consumos (valores en kg/tonelada de aceite usado, si no se indica lo contrario)
Procesado de arcilla/ácido	Ácido sulfúrico como precipitante de metales pesados. Arcilla como agente de filtración/neutralización.	36
Pretratamiento del aceite usado	Desemulsionantes para ayudar en el proceso de sedimentación.	
Procesado de arcilla/destilación	Arcilla.	40
Desasfaltado con propano (DAP)	El consumo de energía es mayor que en la regeneración mediante tratamiento químico o hidrogenación.	
Evaporador de películas finas (EPF) + procesado de arcilla	Arcilla.	60
EPF + hidroacabado	Hidrógeno y catalizadores.	
EPF + extracción de disolvente	Disolvente.	
EPF + tratamiento químico + extracción de disolvente	Energía. Sosa cáustica. Disolvente.	3,2 MJ/kg de aceite usado de lubricante 10 0,3
EPF + extracción de disolvente + hidroacabado	Catalizador de hidrógeno. Sustancia química mohawk. Gas de hidrógeno.	0,25 12 2
DAT (desasfaltado térmico) + tratamiento de arcilla	Arcilla.	100
DAT + hidroacabado (alta presión)	Catalizador.	0,5
DAP (desasfaltado con propano) +	Propano.	8,25

Capítulo 3

hidroacabado (presión media)		
Con tratamiento térmico de arcilla	Recursos energéticos fósiles.	4,26 MJ/kg de aceite usado de lubricante
Con hidroacabado	Energía.	9,93 MJ/kg de aceite usado de lubricante
Destilación al vacío + tratamiento químico	Consumo de combustibles fósiles. Energía primaria. Consumo de agua.	Equivalente a 47 kg de aceite crudo 2681 MJ 3300
Proceso de regeneración	Recursos energéticos fósiles.	42,46 MJ/kg de aceite
Sosa cáustica y tratamiento de tierra de blanqueo	Sosa cáustica. Tierra de blanqueo.	30 20
Hidrogenación por contacto directo (DCH)	Hidrógeno. Catalizador.	70 Nm ³ /t 0,5

Tabla 3.82: Consumos de diferentes técnicas de rerrefinado de aceites usados. [6, Silver Springs Oil Recovery Inc., 2000], [7, Monier y Labouze, 2001], [11, Jacobs y Dijkmans, 2001], [13, Marshall, et al., 1999], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

En la tabla 3.83 se recogen los consumos del rerrefinado de parte del aceite usado en aceite de base que puede volverse a utilizar como lubricante, junto con la regeneración en fuelóleo del resto del aceite usado.

	Consumos	Unidades
Aspectos económicos		
Gastos de inversión de la instalación de tratamiento	4,85 (36)	Millones de euros (DKK)
Mantenimiento	0,094 (0,7)	Millones de euros (DKK) por año
Período en funcionamiento	20	Años
Insumo de trabajo	10	Número de personas
Recursos utilizados		
Sustancias químicas	291,5	Toneladas
Agua	8000	m ³
Electricidad	1150	MWh
Fuelóleo	1200	m ³
Base: 26.000 toneladas anuales recogidas de aceite usado para aceite base (8000 toneladas), fuelóleo (12.000 toneladas) y asfalto (4000 toneladas).		

Tabla 3.83: Consumos de las actividades de rerrefinado de aceites usados. [12, Birr-Pedersen, 2001]

La figura 3.5 representa un diagrama de bloques que muestra una comparación entre los materiales de entrada y de salida de diferentes procesos de refinado.



Figura 3.5: Materiales de entrada y de salida del tratamiento de rerrefinado.

Nota: a) DAT/HA, b)DAT/DAP/HA, c)EPF/tratamiento de arcilla, d)EPF/disolvente, e) DCH
 HA = hidroacabado. El % representa la cantidad que va a dicho flujo respecto al 100 % de aceite
 usad de lubricante o que entra en el sistema.

[36, Viscolube, 2002], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

La tabla 3.84 muestra los consumos del sistema de DAT y del DAT combinado con el DAP.

Sistema de HA/DAT tradicional						
Consumos	PD	DAT	HA		Total	Unidad
Consumo eléctrico	1,5	12	20		33,5	kWh
Vapor a media presión	285	322	70		677	kg
Agua de refrigeración (reposición) ⁽¹⁾	1,1	5	0,3		6,4	Tonelada
Combustible (calor absorbido)	/	670	711		1380	MJ
Hidrógeno	/		2,1		2,1	kg
Catalizador	/		0,2+0,05 ⁽²⁾		0,2+0,05 ⁽²⁾	Tonelada
Reposición de propano						Kg
Sistema de alta recuperación						
Consumos	PD	DAT	HA	DAP	Total	Unidad
Consumo eléctrico	1,5	12	20	13	46,5	kWh
Vapor a media presión	285	322	70	135	812	kg
Agua de refrigeración (repuesto) ⁽¹⁾	1,1	5	0,3	4	10,4	Tonelada
Combustible (calor absorbido)		670	711	920	2300	MJ
Hidrógeno			2,1			kg
Catalizador			0,2 + 0,05 ⁽²⁾		0,2 + 0,05 ⁽²⁾	Tonelada
Reposición de propano				0,8	0,8	kg

⁽¹⁾ Basándose en pérdidas por evaporación del 10 %.
⁽²⁾ Catalizador de desmetalización + catalizador de refinado.
 Nota: consumo basado en una capacidad del aceite residual de 100 kt/año, considerando un contenido en agua del 10 %. Todos los parámetros expresados en unidad/tonelada de aceite usado.
 HA: hidroacabado, DAP: desasfaltado con propano, DAT: desasfaltado térmico, PD: predestilación

Tabla 3.84: Consumos del sistema de DAT y del DAT combinado con el DAP.
 [66, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

Capacidad	(t/año)	2001	4600	6824	15.000	17.171	19.960	46.208	90.500
Consumo de combustible	GJ/año		19.146	33.486	40.671	54.751	16.705	405.883	
Consumo eléctrico	MWh/año	345	225	1200	1380	2024	655	9215	
Consumo calorífico	MWh/año	157			0	15.208			
Agua	m ³ /año	617		80.000	9848	9929	1557	407.000	2.213.000
Refrigeración	MJ/año				44.000				
Capacidad de la instalación/ electricidad	kWh/t	172,4	48,9	175,8	92	117,9	32,8	199,4	
Capacidad de la instalación/calor	kWh/t	78,5				885,7			

Tabla 3.85: Consumos de diferentes instalaciones de rerrefinado de aceites usados en la UE.
 [66, GTT, 2003]

Consumos de la regeneración de disolventes usados

La tabla 3.86 muestra los consumos de dos instalaciones que funcionan en la UE. Otros datos mostraron un consumo de energía inferior a 1 GJ/tonelada.

Parámetro de consumo	Unidades		
Capacidad	kt	12	27,5
Combustible gaseoso	GJ/año	19.651	
Consumo de combustible	GJ/año		31.628
Electricidad	MWh/año	1571	2984
Agua	m ³ /año	19.000	40.776

Tabla 3.86: Consumos de dos tratamientos de regeneración de disolventes usados.
 [66, GTT, 2003], [130, UBA, 2003]

Consumos de la regeneración de catalizadores agotados

La tabla 3.87 muestra el balance total de masas para una regeneración de ejemplo. Se recuperaron casi 375 toneladas de catalizador que puede reutilizarse.

Balance total de masas	Valores en kg	
Como material recibido		620.982
Soporte inerte	27.099	
Polvos y partículas finas sin regenerar	9569	
Material sin regenerar de entrada en el regenerador		584.314
Material de pequeña longitud, y polvos y partículas finas regeneradas	37.191	
Pérdida durante el encendido	172.143	
Catalizador neto regenerado		374.980

Tabla 3.87: Balance de masas en una regeneración comercial del catalizador CoMo [125, Ruiz, 2002]

Consumos en el tratamiento de residuos sólidos fotográficos

El consumo eléctrico para la trituración, lavado/aclarado y electrolisis asciende a entre 100 y 300 kWh/t de residuo de películas fotográficas. Se utilizan unos materiales auxiliares, según el proceso de desplateado. Estos materiales se muestran en la tabla 3.88.

Desplateado con blanqueo-fijación	Desplateado con cloruro férrico
Hidróxido sódico (20 %) 6 l/t de película	Cloruro férrico (40 %) 11 l/t de película
Ácido sulfúrico: 6 l/t de película	Ácido hidroclicórico (36 %): 8 l/t de película
Bisulfito sódico: 12 l/t de película	Sulfito sódico: 12 l/t de película
	Peróxido de hidrógeno (35 %) 4 l/t de película

Tabla 3.88: Cantidades de materiales auxiliares empleadas para desplatear los residuos de películas fotográficas. [156, VROM, 2004]

Consumos en el tratamiento de residuos fotográficos líquidos

Consumo energético

La electricidad necesaria para la electrolisis oscila entre los 12 y 46 kWh/t de residuos fotográficos líquidos. El consumo eléctrico depende del contenido férrico. Para el blanqueo-fijación, el consumo es mayor debido al mayor contenido en hierro. La ultrafiltración necesita aproximadamente 27 kWh_e y 13 MJ/t de residuo líquido para el calentamiento del agua de aclarado. El consumo eléctrico para la eliminación química de la plata se calcula que es de 3,5 kWh/t de residuo líquido fotográfico.

El consumo energético de la evaporación es de aproximadamente 220 MJ/t de agua residual. Si también se aplica la evaporación como pretratamiento, en el caso del agua residual del procesado de fotos en color, el consumo energético es de aproximadamente 350 MJ/t de agua residual. La electricidad necesaria para la electrofloculación, en el caso de un desplateado extra, es aproximadamente de 80 kWh/t de agua residual. Un tratamiento posterior fisico-químico y biológico requiere aproximadamente 5 kWh_e/t de agua residual.

Consumo de sustancias químicas

La tabla 3.89 muestra el consumo de sustancias químicas en la ultrafiltración/precipitación de sulfuros de los residuos líquidos fotográficos.

Sustancia química	Consumo (kg/t de residuo del procesado fotográfico)	Función
Sulfuro sódico (40 %)	0,1	Precipitación de plata (y de otros metales)
Ácido cítrico	0,7	Limpieza de membranas
Hidróxido sódico	0,01	Limpieza de membranas
Detergentes	0,01	Limpieza de membranas
Agua	75	Limpieza de membranas

Tabla 3.89: Consumos de sustancias químicas para la ultrafiltración/precipitación de sulfuros. [156, VROM, 2004]

Para la eliminación química de la plata, se calcula que el consumo de sustancias químicas es de 1,5 litros de borohidruro de sodio y 2,5 litros de ácido sulfúrico por tonelada de residuo líquido fotográfico.

En el tratamiento físico-químico de los residuos líquidos fotográficos desplateados, se utilizan varias sustancias químicas. Los consumos se muestran en la tabla 3.90. Si se aplica la evaporación como pretratamiento, no se consume prácticamente ninguna sustancia química en los pasos sucesivos. La mayoría de los contaminantes ya se han eliminado en el paso de la evaporación.

Sustancia química	Consumo (kg/t de agua residual)	Comentarios
Hidróxido sódico (33 %)	0,007	
FeCl ₃	0,003	
Carbono en polvo	0,5	
Floculante	5	En el caso de desplateado
Na ₂ S (40 %)	15	En el caso de desplateado

Tabla 3.90: Consumo de sustancias químicas para el tratamiento de residuos líquidos fotográficos desplateados. [156, VROM, 2004]

3.4.3 Emisiones de los tratamientos de residuos para obtener un material reciclado

3.4.3.1 Emisiones del rerrefinado de aceites usados

Deben tenerse en cuenta varios asuntos a la hora de evaluar las emisiones del rerrefinado de aceites usados:

- los aceites lubricantes usados contienen sustancias orgánicas de cadena más corta que los lubricantes nuevos y, por tanto, es probable que los COV alcancen valores significativos;
- el cloro y el azufre son compuestos «problemáticos» que se encuentran en los aceites usados;
- los compuestos aromáticos son, en general, más polares que las moléculas alifáticas y, por tanto, es más probable que se encuentren en la fase acuosa.

El sector del procesado de aceites tiene un estrecho margen de operaciones y es muy probable que utilice un método genérico para calcular las emisiones, si se pueden identificar los constituyentes del aceite. Las siguientes tablas muestran los diferentes contaminantes y medios en los que pueden encontrarse. Algunas tablas se crearon para mostrar los contaminantes (tabla 3.91 y 3.92) y otras muestran las actividades que pueden producir contaminación (tabla 3.93).

Espece	Aire	Agua	Residuo y tierra
<i>Compuestos orgánicos</i>			
Benceno	Sí, algunos datos, pero es difícil distribuir las cantidades entre aire/agua/tierra.	Sí, algunos datos, pero es difícil distribuir las cantidades entre aire/agua/tierra. Compuesto polar.	Sí, algunos datos, pero es difícil distribuir las cantidades entre aire/agua/tierra.
Etilbenceno (COV)	No hay datos.	Sí (como BTEX)	Sí (como BTEX)
Tolueno		Sí, algunos datos, pero es difícil distribuir las cantidades entre aire/agua/tierra.	Sí, algunos datos, pero es difícil distribuir las cantidades entre aire/agua/tierra.
Xilenos	Sí, algunos datos, pero es difícil distribuir las cantidades entre aire/agua/tierra.	Sí, algunos datos, pero es difícil distribuir las cantidades entre aire/agua/tierra.	Sí, algunos datos, pero es difícil distribuir las cantidades entre aire/agua/tierra.
COV	Sí, algunos datos incompletos, pero es difícil distribuir las cantidades entre aire/agua/tierra. Probablemente, los alcanos de cadena corta se liberarán al aire. Puesto que el aceite usado normalmente contiene productos finales ligeros como la gasolina, los COV pueden emitirse durante el almacenado (del depósito y sus canalizaciones) en todos los procesos considerados. Los aceites sometidos a calentamiento y agitación generan emisiones de COV.	BTEX sobre todo son moléculas polares, pero también volátiles, y se encuentran presentes en la fase acuosa o evaporadas en el aire.	
Naftaleno		Existen algunos datos.	Existen algunos datos.
Bifenilo		Datos limitados, que pueden no ser relevantes.	Datos limitados.
Fenol	No se prevén emisiones gaseosas ya que es muy soluble en aceite y agua.	Relevante, pero no hay datos.	Relevante, pero no hay datos.
Compuestos de azufre y nitrógeno	El aumento gradual en aditivos de azufre y nitrógeno en aceites lubricantes puede requerir instalaciones que los supervisen.		Encontrados en lodos de aceites usados de lubricantes.

Especie	Aire	Agua	Residuo y tierra
Disolventes clorados y PCB: identificados en algunos análisis.		Durante la deshidratación se eliminan los disolventes y los compuestos más ligeros. En las principales instalaciones de procesado, las naftas y cortes ligeros normalmente se destilan en los pasos anteriores. Si los flujos de hidrocarburos se introducen en un sistema de hidrotatamiento, se pueden eliminar los cloruros.	Lodos de aceites usados de lubricantes.
HAP. Solían ser un problema para el rerrefinado de aceites de base. Sin embargo, los estudios recientes muestran que es posible eliminar los HAP en el proceso de regeneración de las instalaciones modernas, y así evitar la acumulación de éstos. Los HAP se destruyen mediante una fuerte hidrogenación, que también elimina el nitrógeno, azufre, metales y cloruros.	Es improbable que los HAP se desprendan al aire durante los procesos de tratamiento del aceite. No son compuestos volátiles, y su clasificación como carcinógeno se debe a que se liberan como un producto de la combustión de los combustibles fósiles. El riesgo de emisión de HAP se produce durante el procesado de los filtros de aceites. Llega un momento en el que la mayoría de los filtros se trituran y producen una fina neblina de aceite. Puede haber una campana y un extractor, pero existe el riesgo de liberar HAP al aire, y el aceite en los filtros presenta una mayor concentración de partículas y, por tanto, de HAP. Esto puede que no sea significativo, puesto que las partículas más pequeñas son las que tienen mayor probabilidad de liberarse al aire. Los aceites sometidos a calentamiento y agitación pueden generar emisiones de HAP.	Relevantes, pero no hay datos.	Los HAP pesados en las instalaciones de regeneración terminan en el flujo de residuos o en las combinaciones de asfalto. Los más ligeros permanecen en los cortes de aceites lubricantes. También pueden encontrarse en los lodos de aceites usados de lubricantes. Relevantes, pero no hay datos.
<i>Otros contaminantes del aire</i>			
CO ₂ procedente de muchos procesos de combustión			

Especie	Aire	Agua	Residuo y tierra
Olor	Se ha identificado el olor como un problema importante en las instalaciones de rerrefinado.		
<i>Parámetros residuales y acuosos habituales</i>			
Nitrógeno total		Aditivos de fósforo y nitrógeno.	Aditivos de fósforo y nitrógeno.
Fósforo total		Aditivos de fósforo y nitrógeno.	Aditivos de fósforo y nitrógeno.
COT		Calculados de la DQO como un 1/3 de DQO.	No se han calculado, salvo el calculado a partir del contenido en aceite, pero será demasiado bajo (o DQO).
Cloruro		Aditivos en aceites y sal en las carreteras.	Aditivos en aceites y sal en las carreteras.
Aceite		El aceite por sí mismo es un contaminante visual cuando flota en el agua, y el agua potable se contamina rápidamente por el sabor del aceite.	Lodos de aceites usados de lubricantes.
<i>Metales</i>			
Metales			Los metales de los procesos de regeneración se encuentran principalmente en el corte residual. El reactor del hidrotreamiento elimina los metales volátiles. También pueden encontrarse en los lodos de aceites usados de lubricantes.
Arsénico	Imprevisto	Existen algunos datos.	Existen algunos datos.
Cadmio	Imprevisto	Existen algunos datos, que se están cuestionando.	Existen algunos datos, que se están cuestionando.
Cromo	Imprevisto	Existen algunos datos.	Existen algunos datos.
Cobre	Imprevisto	Datos limitados.	Datos limitados.
Plomo	Imprevisto	Existen algunos datos, que se están cuestionando.	Existen algunos datos, que se están cuestionando. En las opciones de rerrefinado, el plomo acaba entre los residuos pesados, por lo que queda encerrado en un producto de betún.
Manganeso	Imprevisto		
Níquel	Imprevisto	Sí, pero no hay datos.	Sí, pero no hay datos.
Cinc	Imprevisto	Existen algunos datos	Existen algunos datos.

Tabla 3.91: Emisiones habituales de las instalaciones de tratamiento de aceites usados.
 [5, Concawe, 1996], [6, Silver Springs Oil Recovery Inc., 2000], [14, Ministry for the Environment, 2000], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003]

Capítulo 3

La tabla 3.92 de abajo refleja la manera en que los compuestos de los aceites usados se liberan al aire, alcantarillado y productos. Como puede verse, la mayoría de los contaminantes permanecen en el aceite valorizado. La mayor excepción a esto la producen los COV, que pueden liberarse al aire, con una cantidad que depende del tipo de aceite y de si se ha calentado, o no, el aceite durante el tratamiento.

Sustancias de entrada	Procesado en caliente			Procesado en frío		
	Aire	Productos	Agua	Aire	Productos	Agua
Benceno	0,6	0,3	0,1	0,2	0,7	0,1
Tolueno	0,3	0,7	0	0,1	0,9	0
Xilenos	0,1	0,8	0,1		0,9	0,1
Naftaleno		1			1	
Bifenilo		1			1	
Benz(a)antraceno		1			1	
Benzo(a)pireno		1			1	
Heptano	0,2	0,8			1	
Octano	0,1	0,9			1	
Nonano		1			1	
Decano		1			1	
Undecano		1			1	
Arsénico		1			1	
Cadmio		1			1	
Cromo		1			1	
Cobre		1			1	
Plomo		1			1	
Níquel		1			1	
Cinc		1			1	

Nota: las cifras se refieren a la distribución de sustancias en los flujos de salida. Por ejemplo, por cada kg de benceno que entra en el procesado en caliente, 0,6 kg terminan emitiéndose al aire, 0,3 kg van al aceite y 0,1 kg al agua residual. El 1 significa que todo el material de entrada tiene esa salida.

Tabla 3.92: Tabla para asignar el material de entrada a los flujos de aire, aceite y agua en los procesos en frío y en caliente.
[56, Babbie Group Ltd, 2002]

Actividad/instalación	Emisiones de fuentes puntuales		
	Al aire	Al agua	Para eliminarse
Triturado de filtros	Neblina de aceite		
Separación magnética	Neblina de aceite		
Vaciado/trituración de bidones	Neblina de aceite		
Descarga de depósitos cisterna	Ventilación de depósitos		
Filtración gruesa	Neblina de aceite		
Almacenamiento a granel	Ventilación de depósitos. Se vinculan muy pocas ventilaciones de depósitos. En las ventilaciones de los depósitos se liberará el «aire» contenido en el depósito al desplazarse durante el llenado. Es improbable que las emisiones contengan un número significativo de contaminantes, salvo que se haya agitado o calentado el contenido del depósito.	Agua decantada (por tratamiento).	Lodos decantados.

Decantación de aceite frío	Ventilación de depósitos.	Agua decantada (por tratamiento).	Lodos decantados.
Decantación de aceite caliente	Ventilación de depósitos.	Agua decantada (por tratamiento).	Lodos decantados.
Cribado vibrante	Neblina y vapor.		Lodos.
Filtros cerrados			Elementos y lodos utilizados.
Torres de bauxita			Bauxita agotada.
Deshidratación al vacío	Vapor (por reactores).		
Combinación de productos	Ventilación de depósitos.		
Decantación/almacenamiento de lodos bombeados	Ventilación de depósitos.		
Sedimentación del efluente frío	Ventilación de depósitos.		
Sedimentación del efluente caliente	Ventilación de depósitos.		
Tratamiento del efluente biológico	Aire de oxigenación.		
Filtro prensa			Torta de filtración
Separador de placas		Efluente.	Lodos decantados.
Carga y almacenamiento de sólidos/lodos manipulados mecánicamente			Residuos sólidos mezclados.
Caldera alimentada por aceites usados	Emisiones por las chimeneas.		
Residuos viejos del interceptor	Puesto que normalmente proceden de superficies pavimentadas en las que ya se han expuesto al aire, ya habrán emitido todo lo que eran capaces de emitir, salvo que se calienten durante el tratamiento.		

En muchos centros se producen derrames accidentales de aceites en la base del centro durante la descarga, almacenamiento o traslado de materiales. La base del centro normalmente está diseñada para retener los vertidos de los líquidos y devolverlos a la instalación, no obstante se producirá alguna evaporación al aire.

Tabla 3.93: Principales fuentes de emisiones en las instalaciones de reciclaje de aceites. [56, Babbie Group Ltd, 2002], [150, GTT, 2004]

La siguiente tabla identifica las emisiones al aire, agua y suelo que generan los diferentes tipos de tratamientos de aceites usados. En algunos casos, se cuantifican las emisiones con datos.

Proceso	Emisiones (valores en kg/tonelada de aceite usado, si no se indica lo contrario)		
	Aire	Agua	Suelo y residuos
Separación del aceite del flujo acuoso.	Puede producir una serie de otras emisiones como metales, naftaleno, nitrógeno adicional, tolueno, xilenos y HAP.	Puede producir una serie de otras emisiones como metales, naftaleno, tolueno, xilenos y HAP.	Puede producir una serie de otras emisiones como metales, naftaleno, tolueno, xilenos y HAP.

Proceso	Emisiones (valores en kg/tonelada de aceite usado, si no se indica lo contrario)		
	Aire	Agua	Suelo y residuos
Lavado. Ciclo cerrado de reciclaje del aceite industrial.	La emisión del proceso de valorización de aceites es 20-40 mg/m ³ de COV mientras se calienta. Se liberaron 262 kg de COV frente a los valores límite de 100 mg/Nm ³ y 10 t/año.	Agua residual	El lavado puede considerarse un sistema cerrado porque genera muy poco (si genera) aceite usado. Los lodos filtrados contaminados contienen un 20-30 % de aceite. Este flujo residual se reprocesa con cal viva y se adecua para la combustión en hornos de cemento. Para verter de forma controlada al vertedero, existe una condición que cada vez es más estricta, y es la aceptabilidad de una técnica que utiliza una arcilla conocida como «tierra de batanero» para retirar contaminantes. La técnica se sigue aplicando en Nueva Zelanda, aunque no es probable que la eliminación de la arcilla contaminada sea problemática. Se libera al terreno: la torta de filtración que incluye sólidos y partículas finas metálicas (<100 t/año frente a un valor límite permitido de 600 t/año) y en algunos casos lodos de disolventes clorados. El 80-85 % de los bidones se reciclan, y el resto se desguazan.
Regeneración de lubricantes industriales		Agua residual de los procesos de deshidratación.	
Destilación al vacío	La destilación al vacío de los aceites usados produce compuestos de azufre, mercaptanos (olorosos) y HAP (algunos pueden ser cancerígenos).		Todos los metales que contiene el aceite usado de lubricante terminan en el residuo. Este residuo puede combinarse con un residuo del crudo en una proporción que permita su uso como componente del betún.
Procesamiento de arcilla/destilación			Produce grandes cantidades de arcillas con aceite absorbido que deben eliminarse. La arcilla activa a altas temperaturas posibilita una proporción arcilla/aceite inferior, lo que aumenta el rendimiento total y reduce la cantidad de arcilla oleosa que debe ser eliminada.
Evaporador de películas finas (EPF) + tratamiento de arcilla		Agua: 90	Arcilla: 50 – 60 Betún (metales y aditivos): 130 Lodos y productos finales ligeros: 35 El proceso produce residuos (que deben eliminarse).

Proceso	Emisiones (valores en kg/tonelada de aceite usado, si no se indica lo contrario)		
	Aire	Agua	Suelo y residuos
Procesamiento de arcilla/ácido			<p>Este proceso produce grandes cantidades de lodos y sólidos que deben eliminarse. Estos lodos (alquitranes ácidos) son muy ácidos y contienen grandes concentraciones de HAP, ácido sulfúrico y compuestos de azufre, así como la mayoría de los metales de los aceites usados de lubricantes. Estos alquitranes no son adecuados para enviarlos al vertedero debido a sus propiedades físicas y químicas. Esta última limitación puede superarse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • enviando los lodos ácidos junto con la arcilla oleosa, en forma granulada, a las fábricas de cemento o a las empresas constructoras; • incinerando, pero los gases deben tratarse con sosa cáustica y el agua residual debe tratarse. Este tratamiento de neutralización genera tanta cantidad de residuo inactivo como de alquitrán ácido tratado; • tratando para producir ácido sulfúrico o SO₂. La arcilla utilizada (4 % del peso de materia prima + contenido de aceite absorbido) también debe incinerarse mediante el mismo método descrito arriba.
Destilación al vacío + tratamiento químico o tratamiento de arcilla			La arcilla y sustancias químicas usadas deben eliminarse de forma segura. La vía que actualmente se utiliza es quemarlas en los hornos de cemento o en una incineradora de residuos químicos.
Destilación al vacío e hidrotreamiento	Las emisiones comunes a todos los procesos que manipulan productos oleosos.		La eliminación de catalizadores de hidrotreamiento agotados debe realizarla una empresa especializada en el tratamiento de este tipo de problema. El residuo producido en la fase de destilación al vacío es similar al asfalto y puede venderse. Los combustibles retirados en la fase de extracción de combustible pueden utilizarse en el centro o venderse. El catalizador utilizado es el níquel-molibdeno y se recicla en una fundición de níquel o se vierte de forma controlada.
EPF + hidroacabado		Agua: 90	Lodos y productos finales ligeros: 30 Azufre: 35 Betún: 130
EPF + extracción de disolvente		Agua: 90	Lodos y productos finales ligeros: 30 Extracto: 60 Betún: 130
EPF + extracción de disolvente + hidroacabado		Agua: 65	Lodos y productos finales ligeros: 20 Azufre: 4 Betún: 160

Proceso	Emisiones (valores en kg/tonelada de aceite usado, si no se indica lo contrario)		
	Aire	Agua	Suelo y residuos
DAT (desasfaltado térmico) + tratamiento de arcillas		Agua residual: 770	Productos finales ligeros/ disolventes: 35 Arcilla: 130 Betún (metales y aditivos): 120
DAT + hidroacabado (media presión)		Aguas residuales: 770	Productos finales ligeros/ disolventes: 35 Catalizadores agotados: 0,5 Betunes: 120
DAP (desasfaltado con propano) + hidroacabado (media presión)		Aguas residuales: 770	Productos finales ligeros/ disolventes: 30 Betunes: 130
Destilación al vacío + tratamiento químico	1116 kg eq CO ₂ 2,8 kg eq SO ₂ COV: 0,04 kg eq. C ₂ H ₄ 3,6 g de partículas	0,0011 kg eq fosfatos en agua	Residuos para eliminar: 24 Residuos para recuperar: 33
Destilación y tratamiento de bases (vaxon-cator)		Ninguna. Reciclaje a un producto.	Residuo.
Extracción de disolvente y destilación (Sener-interline)		Descargas al agua procedentes del separador agua/residuo.	Ninguna.
Hidrogenación por contacto directo (DCH)		Agua residual: 60	Betunes: 50 Catalizador agotado: 0,75
Evaporador de películas finas (EPF)		El agua del proceso, el agua decantada procedente de los depósitos de almacenamiento y el agua superficial contaminada se tratan en la instalación de efluentes. Esto supone un problema para el centro ya que el agua presenta una concentración muy alta de DQO que puede oscilar entre los 40.000 y 100.000 mg/l frente al valor límite de emisión permitido de 80.000 mg/l. Contiene materiales como los glicoles, poliglicoles, ésteres y gliceroles.	El residuo del EPF se extrae mientras aún se encuentra combinado con otros fuelóleos secundarios producidos en el centro. La mayoría de los constituyentes organometálicos de los aditivos terminan en el residuo, así que su último destino se encuentra en una emisión al aire del fuelóleo secundario en forma de producto de la combustión. El residuo se encuentra muy diluido en el fuelóleo secundario formado y la combinación se ajusta a las especificaciones de los fuelóleos. Otros residuos, entre los que se encuentran los lodos de las instalaciones de efluente y depósitos de almacenamiento, se eliminan del centro y se centrifugan para recuperar el aceite. El residuo sólido de este proceso se vierte de forma controlada.

Proceso	Emisiones (valores en kg/tonelada de aceite usado, si no se indica lo contrario)		
	Aire	Agua	Suelo y residuos
Sosa cáustica y tratamiento de tierra de blanqueo (ENTRA)		Agua residual: 60	Tierra de blanqueo, sosa cáustica y residuo: 150
Estación de transferencia de aceites usados		Agua residual: 102	Lodos y sólidos: 2,13 Virutas de acero: 85
Tratamiento de aceites para transformadores			Catalizador agotado de bauxita Bidones y palés sin retornar.
Tratamiento de residuos de aceite del interceptor, lubricantes solubles para cuchillas, residuos de zonas de pulverización de pinturas con base acuosa, residuos de sumideros y lixiviados		Agua residual: 1613	Lodos bombeables: 47 Extracciones de los depósitos cisternas y depósitos, y agua tamizada: 43
Rerefinado de aceites lubricantes ¹	CO ₂ : 123 SO ₂ : 1,04 NO _x : 0,35	Agua residual: 84	Residuos químicos/de aceites, lodos: 0,088
Aceites disolventes usados y aguas oleosas		Agua residual: 444	Sólidos y lodos: 171
Tratamiento de mezclas oleoacuosas y lixiviados		Efluente: 1042	Torta de filtración y lodos: 55
Integración en una refinería de aceites minerales	Siempre que se lleven a cabo los pretratamientos adecuados de los aceites usados de lubricantes para eliminar el agua y los productos finales ligeros y para reducir el contenido en cloro, las emisiones que se producen son las relativas a una refinería (consulte el documento BREF de refinerías)		Los metales se encuentran encapsulados en el asfalto y, por tanto, el lixiviado de metales será muy escaso. No obstante, antes de considerar ésta como una opción viable hay que resolver algunos problemas de daños por corrosión a la instalación y pérdida de la actividad catalizadora de craqueo.

Proceso	Emisiones (valores en kg/tonelada de aceite usado, si no se indica lo contrario)		
	Aire	Agua	Suelo y residuos
Integración en una parte lubricante de una refinería	Puede liberar partículas, azufre, haluros, metales pesados y sus óxidos al aire.		La mayoría de los aditivos lubricantes se extraen del fondo de este corte. Los metales en el residuo tras el proceso de extracción del disolvente aún pueden lixiviarse. Puede haber problemas a la hora de eliminarlos en el asfalto, sobre todo en invierno cuando el mercado se enlentece. Este corte podría no ser adecuado para combinarlo con combustibles pesados, porque no supera las pruebas de filtración y también por motivos ambientales. Se cree que los extractos aromáticos, contaminados con cloro, deben eliminarse fuera de la refinería.
Regeneración	CO ₂ equivalente (kg eq. CO ₂ /kg de aceite): 3,19 Potencial de acidificación (g eq. H/kg de aceite): 0,06 Emisiones de COV (g/kg de aceite): 9,05 Emisiones de CO (CO/kg de aceite): 9,74	Emisiones de COV (g de COV/kg de aceite): 35,02	Residuo (g/kg de aceite): 411
Tratamiento químico + destilación + HA			
¹ Los cálculos se hicieron de acuerdo con un tratamiento/uso anual de 26.000 toneladas de aceite usado deshidratado que dio lugar a 8000 toneladas de aceite de base, 12.000 toneladas de fuelóleo y 4000 toneladas de asfalto.			

Tabla 3.94: Problemas ambientales que generan diferentes técnicas de rerrefinado de aceite usado.

[6, Silver Springs Oil Recovery Inc., 2000], [7, Monier y Labouze, 2001], [11, Jacobs y Dijkmans, 2001], [12, Birr-Pedersen, 2001], [13, Marshall, et al., 1999], [14, Ministry for the Environment, 2000], [42, R.U., 1995], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [139, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

Emisiones al aire

En algunos centros se controlan de forma parcial las emisiones al aire, aunque en otros no se someten a ningún control. Se sabe que se emiten COV. El sistema de lubricación es un sistema semicerrado, que no es hermético al gas, y por tanto puede esperarse que los gases volátiles se evaporen y abandonen el sistema a las temperaturas normales de funcionamiento.

En algunos centros existen sistemas de reducción de las emisiones al aire del aceite. En otros centros, la cantidad en exceso de aceite en los edificios simplemente se ventila mediante ventiladores de extracción; y todos los depósitos poseen respiraderos a la atmósfera.

La mayoría de las instalaciones aceptan que el aceite genera un problema de olores. El control de los olores en dichas instalaciones requiere una atención y una gestión de alto nivel. Los olores normalmente se generan durante el almacenamiento, por ejemplo, pueden aparecer al dejar las compuertas abiertas de la parte superior de los depósitos de sedimentación y de los depósitos de almacenamiento del aceite, o en cribados vibrantes abiertos.

No se encontraron datos fidedignos ampliamente reconocidos sobre la concentración de contaminantes en el aire emitidos en los procesos de rerrefinado de aceites usados. No obstante, en la tabla 3.95 se muestran algunas distribuciones matriciales.

Actividad	Filtros de aceite	Bidones de aceite de 25 l	Bidones de aceite de 205 l	Aceite de motor usado a granel	Aceites industriales usados	Aguas oleosas (interceptores)	Fuelóleos	Aceites eléctricos
Descarga de los depósitos de filtros								
Almacenamiento de los depósitos de filtros								
Aplastado de filtros								
Trituración de filtros	*							
Separación magnética	*							
Descarga de bidones de 205 l								
Almacenamiento de bidones de 205 l								
Vaciado de bidones de 205 l								
Descarga de bidones de 25 l								
Almacenamiento de bidones de 25 l								
Vaciado/triturado de bidones de 25 l		*						
Descarga de depósitos cisterna								
Filtración gruesa								
Almacenamiento a granel								
Decantación de aceite frío								
Decantación de aceite caliente				*	*			
Destilación				*	*			
Cribado vibrante								
Centrifugado								
Torres de bauxita								*
Deshidratación al vacío								*
Combinación de productos								
Decantación/almacenamiento de lodos bombeados								
Incineración del efluente				*	*	*	*	
Sedimentación del efluente frío								
Sedimentación del efluente caliente				*	*	*	*	
Tratamiento del efluente biológico				*	*	*	*	
Clarificación del efluente								
Depósito de equilibrio del efluente								
Separador de placas								
Manipulación y almacenamiento de sólidos/lodos manipulados mecánicamente								
Caldera alimentada por aceites usados				*	*	*	*	

Nota: las celdas en gris señalan que es probable que se produzcan emisiones y los asteriscos señalan los lugares que se cree que pueden ser las mayores fuentes.

Tabla 3.95: Tabla de emisiones al aire de todos los procesos habituales en las instalaciones de regeneración de disolventes y aceites.
[56, Babbie Group Ltd, 2002]

Capacidad	t/año		6824	15.000	17.171	46.208		90.500	
Cd + Tl	mg/Nm ³	kg/año		0		0,0008	0	0,0008	
CFC	mg/Nm ³	kg/año		0		0	0		
Clorobencenos	mg/Nm ³	kg/año		0		0,08	0		
CO	mg/Nm ³	kg/año	501,6	0	193	7,4	1300	18,9	3978
CO ₂	t/año					24.000			
COT	mg/Nm ³			0				3	
HAP	mg/Nm ³	kg/año	0,0008	0		8E-07	0,000175	0,0008	
HCl	mg/Nm ³	kg/año		0	2,8	1,5	263	0,8	
HF	mg/Nm ³			0				0,08	
Hg	mg/Nm ³			0				0,026	
Humos producidos		Millones Nm ³ /año			14,89		175,4		210,5
NO _x	mg/Nm ³	kg/año	63,7		90	225,8	39.610	802,5	168.891
Olor	Unidad de olor europea./Nm ³			0					
Oxígeno	%			4	7,4	3		10	
P	mg/Nm ³	kg/año	4	0	4,23	11,17	1960	28,4	
PCB	mg/Nm ³	kg/año		0		8E-07	0		
PCDD/PCDF	ngEQT/Nm ³	g/año		0		0,008	0,00175	8	
Ruido	dB(A)			75		55			
SO _x	mg/Nm ³	kg/año	14	4000	60.000	529,7	92.910	4,2	884
Total de metales	mg/Nm ³			0				0,423	

Nota: para las instalaciones que sólo tienen una columna, las cifras corresponden a la columna de concentración.

Tabla 3.96: Emisiones al aire de diversas instalaciones de rerrefinado de aceites usados en la UE. [66, GTT, 2003]

Emisiones al agua

Generalmente, las emisiones al agua están bien documentadas. Esto se debe a las normativas y límites impuestos a los vertidos al alcantarillado o a la eliminación por otras vías alternativas. Por tanto, normalmente se conocen bien las cantidades de los efluentes vertidos.

Se toman muestras regularmente de los vertidos, que aportan datos de seguimiento que permiten calcular las emisiones de radicales en el programa de análisis. Los centros que manipulan grandes volúmenes de agua y que vierten constantemente al sistema de alcantarillado normalmente toman muestras a diario, mientras que los centros que manipulan pequeños volúmenes suelen analizar el agua por lotes antes de verterla. La tabla 3.97 y 3.98 muestran las concentraciones de los parámetros acuáticos y la matriz de emisiones al agua, generadas por el rerrefinado de aceite usado.

Parámetros del agua	Agua oleosa ² (mg/l)	Agua del proceso ² (mg/l)	Concentración de efluente (mg/l)
Temperatura			25 °C
pH			7,8
Color			claro
DQO ¹ (COT)	120	17.000	20 – 20.000
Aceite/grasa			<10
Hidrocarburos			5 – 15
Tensioactivos aniónicos			0,2 – 0,5
Tensioactivos no aniónicos			1,0 – 2,0
Tensioactivos totales			1,2 – 2,5
Benceno			364
Tolueno			1306
Fenoles	1,5	180	0,2 – 0,4
Naftaleno			283
Disolventes clorados (diversos)			309 – 666
1, 2 Dicloroetano			<1,0
Hexaclorobutadieno			<0,001
Hexaclorobenceno			<0,001
1, 2, 4 Triclorobenceno			<0,001
Diversos PCB			<0,001
Benz(a)antraceno y benzo(a)pireno			Ambos por debajo de 0,02
Amoníaco			4,0 – 6,0
Sólidos en suspensión			<400
Cloro			
Nitrógeno total			
Fósforo total			0,05 – 0,2
Total de metales:			<10
• Aluminio			<0,5
• Arsénico			3,4
• Bario			80
• Cadmio			<0,01 – 0,34
• Cromo			10
• Cobre			
• Hierro			<0,6
• Plomo			271
• Cinc			250

¹ Parcialmente son desmenuzantes y detergents.
² Parámetros del agua residual enviada para ser tratada biológicamente tras el tratamiento de extracción.

Tabla 3.97: Parámetros del agua residual de diferentes procesos de rerrefinado de aceites usados. [42, R.U., 1995], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [66, GTT, 2003]

Actividad	Aceite de motor usado a granel	Aceites industriales usados	Aguas oleosas (interceptores)	Fuelóleos	Aceites eléctricos
Sedimentación del efluente frío	*	*	*	*	*
Sedimentación del efluente caliente	*	*	*	*	*
Tratamiento del efluente biológico	*	*	*	*	*
Clarificación del efluente	*	*	*	*	*
Filtro prensa de lodos del efluente	*	*	*	*	*
Depósito de equilibrio del efluente	*	*	*	*	*
Separador de placas	*	*	*	*	*

Tabla 3.98: Matriz de emisión al agua de todos los procesos habituales en las instalaciones de reciclaje de disolventes y aceites. [56, Babbie Group Ltd, 2002]

Capacidad	t/año	6824	15.000	17.171	19.960	46.208	90.500
-----------	-------	------	--------	--------	--------	--------	--------

Agua residual generada		m ³ /año			1800			6180		298.287		375.000
Agua residual generada/ capacidad de la instalación		m ³ /t			0,12			0,3096		6,4553		4,1436
Sólidos en suspensión	mg/l	kg/año						931	6860	22,99	0	0
COT	mg/l	kg/año							1490	4,99		
DBO ₅	mg/l	kg/año		4000	7200						13.300	38
DQO	mg/l	kg/año		8000	14.400	300		27.703	25.650	85,99	39.550	113
Hidrocarburos	mg/l	kg/año	0,18						430	1,44		0,4
Fenoles	mg/l	kg/año	0,4	0		0,8		42,58	14	0,04	105	0,3
AOX	mg/l	kg/año							0	0		
BTX	mg/l	kg/año	0,4						0	0		
Nitrógeno total (como N)	mg/l	kg/año							10.000	0,033		0,008
Nitrito N (NO ₂ - N)	mg/l	kg/año							180	0,6		0,32
Libre de CN	mg/l	kg/año							0	0		0,008
Sulfuro (libre)	mg/l					1						0,4
F, total	mg/l											0,4
P, total	mg/l	kg/año							2980	9,99	140	0,4
Total de metales	mg/l			0,56								
Al	mg/l	kg/año		0,08					476	1,6	140	0,4
Fe	mg/l	kg/año		0,08					952	3,2	35	0,1
As	mg/l	kg/año		0,08					116	0,4		0,0024
Cr, total	mg/l	kg/año		0,08					952	3,2		0,08
Cr(VI)	mg/l	kg/año		0,08					44	0,16		0,008
Cu	mg/l	kg/año		0,08					92	0,32		0,024
Hg	mg/l	kg/año		0,08					1,12	0,004		0,00032
Ni	mg/l	kg/año		0,08					476	1,6		0,16
Pb	mg/l	kg/año		0,08				0,291	68	0,24		0,04
Zn	mg/l	kg/año		0,08				1,276	236	0,8		0,24

Nota: cuando sólo hay una columna para una determinada capacidad, se refiere a los valores de la concentración.

Tabla 3.99: Emisiones al agua de diferentes instalaciones de rerrefinado que funcionan en la UE [66, GTT, 2003]

Residuos sólidos y vertidos a la tierra

Normalmente se realizan pruebas a los lodos para determinar los contenidos en metales, aceites y humedad. Se realizan con una frecuencia menor que las pruebas a los residuos acuosos en los sistemas de alcantarillado. La tabla 3.100 y 3.101 muestran las concentraciones de los parámetros del agua y la matriz de emisión al agua que genera el rerrefinado de aceites usados.

Tipo de residuo	Parámetros de los residuos				
	Metales	Humedad	HC y COT	Compuestos de azufre	Otro
Lodos	Puede contener algunos metales tóxicos	X	X	X	
Lodos del fondo de los depósitos			X		
Partículas sólidas procedentes de los filtros	X		X		HAP y PCB.
Residuos del interceptor	X	baja	X		Fosfatos, HAP y sólidos no relacionados con los lubricantes.
Filtros de aceite limpio	X				

Tabla 3.100: Tipos de residuos generados en procesos de rerrefinado de aceites usados. [42, R.U., 1995], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [66, GTT, 2003]

Actividad	Bidones de aceite de 25 l	Bidones de aceite 205 l	Aceites de motor usado a granel	Aceites industriales usados	Aguas oleosas (interceptores)	Fuelóleos	Aceites eléctricos
Almacenamiento a granel			*	*	*	*	*
Decantación de aceite frío			*	*	*	*	*
Decantación de aceite caliente			*	*	*	*	*
Destilación			*	*	*	*	*
Cribado vibrante			*	*	*	*	*
Centrifugado			*	*	*	*	*
Filtros cerrados			*	*	*	*	*
Filtro prensa de lodos del efluente			*	*	*	*	*
Manipulación y almacenamiento de sólidos/lodos manipulados mecánicamente	*	*	*	*	*	*	*

Tabla 3.101: Matriz de emisión al terreno de todos los procesos habituales en las instalaciones de reciclaje de disolventes y aceites. [56, Babbie Group Ltd, 2002]

La tabla 3.102 recoge los criterios de actuación ambiental de diferentes sistemas de tratamiento a partir de un estudio industrial. En el estudio se explican en profundidad todas las cifras de la tabla. Cada cifra representa el valor absoluto asignado al sistema de tratamiento con respecto a un criterio específico y analiza el comportamiento del sistema con respecto a dicho criterio comparándolo con otros sistemas.

Proceso	Criterios ambientales				
	Compuestos de azufre	Metales	Productos de la combustión incompleta + COV	Reutilización de materiales	Reutilización de energía
Lavado. Ciclo cerrado de reciclaje (reutilización)	1	1	3	1	5
Re refinado químico sin destilación	2	2	3	1	5
Re refinado con destilación	1	1	1	1	5
Combinación a residuos al vacío de una refinería	5	3	4	5	1
Nota: Compuestos de azufre: el último destino del azufre procedente del aceite usado. Metales: el último destino de los metales procedentes del aceite usado. Productos de la combustión incompleta + COV: la emisión de COV o de productos de la combustión incompleta (CO, HAP, hollín, dioxinas, furanos, etc.) que proceden del aceite usado. Valores: 1 rendimiento óptimo, 5 pésimo, en una escala correspondiente.					

Tabla 3.102: Evaluación de la actuación ambiental de diversas actividades de re refinado y reutilización.
 [11, Jacobs y Dijkmans, 2001]

3.4.3.2 Emisiones de la regeneración de disolventes usados

La mayor preocupación para el sector de la recuperación de disolventes son las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, que se producen en la recuperación de los disolventes residuales. En las operaciones de recuperación de disolvente también pueden producirse emisiones gaseosas ácidas y de partículas.

Las emisiones gaseosas ácidas constan principalmente de cloruro, fluoruro de hidrógeno y óxidos de azufre. La incineración es la operación que supone la principal fuente de gases ácidos y de partículas dentro de la industria de la recuperación de disolventes y, por tanto, este problema se trata en el BREF sobre incineración de residuos. Las emisiones de las chimeneas de las incineradoras constan de contaminantes sólidos oxidados y liberados en forma de partículas, compuestos orgánicos sin quemar y gases de combustión de las chimeneas.

En las operaciones de recuperación de los disolventes, los residuos de fondo se componen de compuestos orgánicos como los residuos y lodos oleosos, y residuos acuosos. Si se trata el agua en el centro, se crearán lodos y otros residuos. Se pueden producir otras emisiones en las muestras o contenedores desechados, residuos del lavado de los depósitos o en la volatilización. Algunos residuos y lodos se retiran calientes de los alambiques y se introducen en los bidones para que se enfríen y solidifiquen. Seguidamente, pueden someterse a otro tratamiento o ser eliminados. En los sistemas industriales puede haber trazas de impurezas, procedentes de los inhibidores, desnaturalizadores o del lavado de la instalación; estas impurezas pueden causar problemas, sobre todo cuando se utilizan técnicas de destilación azeotrópicas.

Entre los puntos de emisión se incluyen los respiraderos de los depósitos de almacenamiento, respiraderos de los condensadores, chimeneas de incineradoras y pérdidas fugitivas. Las emisiones de COV clasificadas como fugitivas se producen por fugas de los equipos, fuentes de disolvente abiertas (por ejemplo, retirada de lodos, almacenamiento del material para destilación y operaciones iniciales del tratamiento), cargas y derrames de disolventes.

Los disolventes pueden derramarse de forma accidental durante las actividades de manipulación, destilación y purificación. Los materiales derramados en el suelo pueden extenderse en la zona, evaporarse y, por tanto, producir emisiones al aire, agua o tierra. Las emisiones causadas por accidentes significativos como un derrame también deben tenerse en cuenta.

Las emisiones gaseosas pueden producirse en muchas fuentes, entre las que se incluyen los vapores no condensables de las operaciones de fraccionamiento/destilación, y pérdidas de aire en los depósitos de almacenamiento y extractores locales situados en los puntos de escape o de manipulación del material. Las concentraciones de las emisiones serán elevadas, salvo para las fuentes como los extractores locales. Las concentraciones y los tipos de compuestos emitidos pueden variar significativamente. Las magnitudes del flujo de las columnas de fraccionamiento continuo que funcionan al vacío en condiciones estables son generalmente muy bajas (1-10 m³/h). No obstante, cuando se recogen conjuntamente, pueden ascender hasta 500 m³/h. Cuando los sistemas de extracción local se vinculan al equipo de reducción de las emisiones, puede aumentarse significativamente la magnitud del flujo y la dilución de los gases de salida. Con el objeto de minimizar el tamaño del equipo de reducción de las emisiones, se puede mantener el proceso y los extractores locales de forma separada.

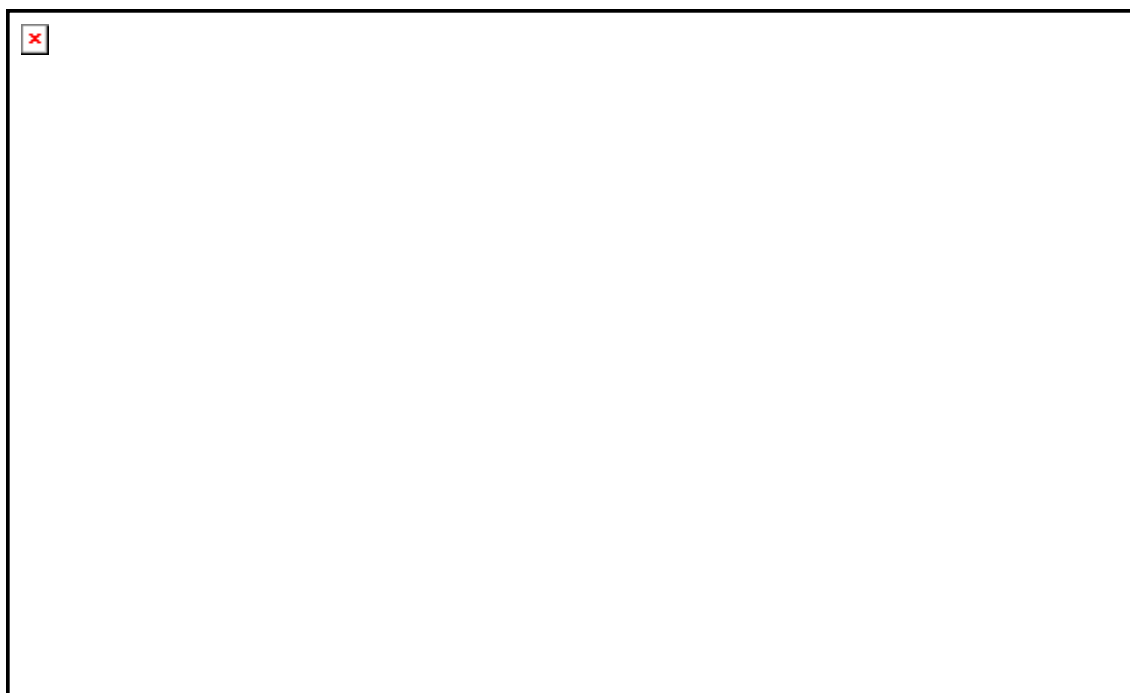


Figura 3.6: Ejemplo de un plan de regeneración de disolventes usados y puntos de emisión.
[129, Cruz-Gomez, 2002]

Actividad/instalación	Emisiones			Emisiones accidentales
	Al aire	Al agua	Al vertedero	
Descarga de los depósitos de los filtros				Drenaje, derrame y vertido incontrolado de contenidos al terreno
Almacenamiento de los depósitos de los filtros				Derrame al terreno
Aplastado de filtros				Derrame al terreno
Trituración de filtros	Neblina de aceite			Derrame al terreno
Separación magnética	Neblina de aceite			Derrame al terreno
Descarga de bidones de 205 l				Derrame al terreno
Almacenamiento de bidones de 205 l				Derrame al terreno
Vaciado de bidones de 205 l				Derrame al terreno
Descarga de bidones de 25 l				Derrame al terreno
Almacenamiento de bidones de 25 l				Derrame al terreno
Triturado/vaciado de bidones de 25 l	Neblina de aceite			Derrame al terreno

Actividad/instalación	Emisiones			Emisiones accidentales
	Al aire	Al agua	Al vertedero	
Descarga de depósitos cisterna	Ventilación de depósitos			Derrame al terreno
Filtración gruesa	Neblina de aceite			Derrame al terreno
Almacenamiento a granel	Ventilación de depósitos	Agua decantada (por tratamiento)	Lodos decantados	Derrame al terreno
Decantación de aceite frío	Ventilación de depósitos	Agua decantada (por tratamiento)	Lodos decantados	Derrame al terreno
Decantación de aceite caliente	Ventilación de depósitos	Agua decantada (por tratamiento)	Lodos decantados	Derrame al terreno
Destilación	Ventilación y fugitiva			Derrame al terreno
Cribado vibrante	Neblina y vapor		Lodos	Derrame al terreno
Centrifugado				
Filtros herméticos			Lodos y elementos usados	Derrame al terreno
Torres de bauxita			Bauxita agotada	Derrame al terreno
Deshidratación al vacío	Vapor (por reactores)		Derrame al terreno	
Combinación de productos	Ventilación de depósitos			Derrame al terreno
Decantación/almacenamiento de lodos bombeados	Ventilación de depósitos			Derrame al terreno
Incineración	Emisiones de las chimeneas (NO _x , CO, COV, HCl, SO ₂ , etc.)			
Sedimentación del efluente frío	Ventilación de depósitos			Derrame al terreno
Sedimentación del efluente caliente	Ventilación de depósitos			Derrame al terreno
Tratamiento del efluente biológico	Aire de oxigenación			
Clarificación del efluente				
Filtro prensa			Torta de filtración	
Depósito de equilibrio del efluente				Derrame al terreno
Separador de placas		Efluente		
Carga y almacenamiento de sólidos/lodos manipulados mecánicamente			Residuos sólidos mezclados	Derrame al terreno
Caldera alimentada por aceites residuales	Emisiones de la chimenea			

Tabla 3.103: Principales fuentes y matrices de emisión de las instalaciones de reciclaje de disolventes y aceites.
 [56, Babbie Group Ltd, 2002], [150, GTT, 2004]

Parámetro	Valor de la concentración	Unidades de concentración	Valor de carga	Unidades de carga
<i>Emisiones al aire</i>				
Humos generados			14.400.000	Nm ³ /año
Oxígeno	6	%		
CO ₂			1.268.018	kg/año
CO	49	mg/Nm ³	700	kg/año
SO ₂	86,9	mg/Nm ³	850	kg/año
NO _x	44,1	mg/Nm ³	635	kg/año
COT	540	mg/Nm ³	237	kg/año
<i>Emisiones al agua</i>				
Agua residual			2969	m ³ /año
Sólidos en suspensión	16	mg/l	47,5	kg/año
DQO	534	mg/l	1585	kg/año
Fenoles	0,08	mg/l		kg/año
AOX	0,25	mg/l	0,742	kg/año
N total (como N)	16	mg/l	47,5	kg/año
P total	0,43	mg/l	1,27	kg/año
Sulfuro (libre)	0,08	mg/l		kg/año
Nota: capacidad de la instalación 27,5 kt/año				

Tabla 3.104: Emisiones al aire y al agua de las instalaciones de regeneración de disolventes de la UE.
[66, GTT, 2003]

Durante el almacenamiento, la manipulación y en el proceso de destilación se emiten al aire hidrocarburos. Se calcula que las emisión de hidrocarburos (C_xH_y) durante el proceso de destilación es de 0,5 kg/t de disolvente usado.

Algunos disolventes contaminados contienen agua. Tras la deshidratación, la fracción acuosa contiene trazas de disolvente. Esta fracción acuosa oscila entre una cantidad desdeñable y un máximo del 5 al 10 %. Se purifica en una instalación de tratamiento de aguas residuales y se vierte.

La cantidad de residuos de destilación depende de la composición del disolvente residual. Se calcula que la media es el 25 % de la cantidad procesada.

3.4.3.3 Emisiones de la regeneración de catalizadores usados

El conocimiento de la fuente del catalizador agotado a menudo aporta información sobre las posibles emisiones que se deben a la presencia de ácidos, aceites, contaminantes orgánicos (que pueden producir PCDD durante el proceso de fundición), etc. Esto influye directamente sobre el riesgo de emisiones al aire, agua y tierra.

El estado físico del catalizador de residuos también puede influir sobre las emisiones (por ejemplo, las emisiones de partículas dependen del tamaño de las partículas del catalizador residual, contenido en aceites, etc.). En la tabla 3.107 se muestran algunas posibles emisiones de las diferentes instalaciones de regeneración de catalizadores.

Contaminante del aire	Procedente de
Partículas	Emisiones fugitivas
SO ₂	
NO _x	
COV	
Dioxinas	
Metales	
Contaminantes del agua	
Sólidos en suspensión	
Aceite	
COT	
Metales	
Residuos sólidos	
Aceite	
Metales	
Polvo	por ejemplo, sistemas de reducción de las emisiones
Condiciones de referencia del gas de combustión: gas seco, 6 % O ₂	

Tabla 3.105: Posibles emisiones en diferentes regeneradores de catalizadores.
[125, Ruiz, 2002]

3.4.3.4 Emisiones del lavado y regeneración del carbón

El principal problema ambiental relacionado con la regeneración térmica del carbón activo son los efluentes gaseosos como el dióxido de carbono. Los gases ácidos y pesticidas pueden suponer un problema si no se establecen sistemas de control como posquemadores o reactores.

La figura 3.7 muestra un esquema de un proceso genérico de regeneración de carbón activo, e incluye las vías de escape que se recogen en la tabla 3.106.



Figura 3.7: Diagrama de flujo esquemático de una instalación genérica de regeneración de carbón.

[29, UK Environment Agency, 1996]

Notas: los números en el diagrama hacen referencia a los números de la primera columna de la tabla 3.106 de abajo.

Nota 1: horno de solera múltiple ilustrado, aunque la reactivación térmica también se puede realizar en un horno giratorio.

Nota 2: el carbón que sale del horno también puede enfriarse por otros medios.

Nota 3: pueden utilizarse otras técnicas para la deshidratación.

En la tabla 3.106 se recogen las emisiones al ambiente que normalmente generan los procesos de regeneración de carbón activo.

	Fuente:	Polvo/sólidos	CO + CO₂	NO_x	SO_x	Halógenos	Compuestos orgánicos o productos de la oxidación parcial	Metales, metaloides o compuestos
1	Gases de combustión del tratamiento de los gases de combustión	A	A	A	A	A	A	A
2	Emisiones fugitivas por fugas de la juntas	A	A	A	A	A	A	A
3	Chimenea de emergencia (si procede)	A	A	A	A	A	A	A
4	Vertido del efluente acuoso	a					a	a
5	Lodos de la instalación de tratamiento del efluente						T	T

Nota: las emisiones a cada medio se determinarán en cierto grado en función de la aplicación que se le haya dado al carbón, y por consiguiente es posible que se emitan algunas sustancias al agua y al terreno.
 Leyenda: A: Aire, a: agua y T: residuos (tierra)

Tabla 3.106: Vías potenciales de emisión de las sustancias prescritas y de otras sustancias que pueden causar daños.

[29, UK Environment Agency, 1996]

En la tabla 3.107 se muestran los resultados de las emisiones de diferentes instalaciones de regeneración.

Contaminante del aire	Concentración (mg/Nm ³)
Partículas	1 – 34
CO	<3 – 160
NO _x (como NO ₂)	126 – 354
SO ₂	<2 – 60
HCl	<1 – 22
HF	<1
COV (COT)	5 – 15
Dioxinas y furanos PCDD y PCDF (EQT)	<0,01 – 0,18 ng/Nm ³
Cd	<0,05
Hg	<0,05
Otros metales pesados	0,1 – 0,5
Contaminantes del agua	Concentración (mg/l)
Sólidos en suspensión	50 – 300
DQO	400
Simazina	0,001
Atrazina	0,001
EQT (TCDD y TCDF)	0,28 – 0,4 ng/l
Al	30
Cd	0,0005
Hg	0,0001
Mn	30
Residuos sólidos	Composición
Forros refractarios	
Residuos industriales generales	
Lodos de lagunas de sedimentación	Principalmente partículas finas carbonáceas
Condiciones de referencia del gas de combustión: gas seco, 6 % O ₂	

Tabla 3.107: Valores de emisión encontrados en diferentes regeneradores de carbón. [42, R.U., 1995]

Efluente líquido de la instalación de regeneración

El agua se utiliza para transportar el carbón activo como fango a y desde el regenerador. Éste da lugar a un efluente acuoso oscuro que debe clarificarse y reciclarse. El agua separada del fango contendrá sólidos en suspensión y posiblemente sustancias prescritas (por ejemplo, pesticidas) que se envían a la instalación de tratamiento del efluente.

El carbón activo limpio y caliente se enfría en seco o en agua fría. En el sistema de refrigeración húmedo, el agua se hace básica y, por este motivo, se le añade una dosis de ácido. Con el fin de impedir la acumulación de sales minerales, esta agua debe purgarse del sistema con tanta agua de reposición reciclada/dulce como sea necesaria.

El agua también se usa de forma intermitente en grandes cantidades para lavar a contracorriente las tolvas de almacenamiento de carbón activo con el fin de eliminar las partículas finas y equilibrar la superficie superior del carbón activo. Debe aportarse una cantidad suficiente de agua almacenada para que esta agua pueda clarificarse y reciclarse.

Técnicas para controlar las emisiones al suelo

En la regeneración del carbón activo la mayoría de las entregas de carbón se hacen en depósitos-cisternas para graneles. En algunas circunstancias pueden utilizarse bidones. En estos casos, los bidones deben reacondicionarse y reutilizarse para minimizar la eliminación. Otros residuos del proceso son los lodos y la torta de filtración de los filtros prensa y de los depósitos de sedimentación en una instalación de tratamiento de efluentes. En el caso de que la eliminación a la tierra sea el método de eliminación, hay que asegurarse de que la torta o los lodos se secan, ya que el viento no debe arrastrar las partículas finas de carbón. En los casos en que los hornos y secaderos se hayan reparado periódicamente, en los residuos aparecerán ladrillos y forros refractarios.

3.4.3.5 Emisiones de la regeneración de resinas de intercambio iónico

Las emisiones de un proceso de este tipo son pequeñas y quedan reducidas principalmente a emisiones al agua. En la tabla 3.107 se muestran algunas emisiones que tienen lugar en diferentes instalaciones de regeneración.

Contaminante del aire	Procedente de	Concentración (mg/Nm ³)
HCl	Del llenado de un depósito de almacenamiento a granel.	<5
Contaminantes del agua		Concentración (/l)
Magnitud del flujo del efluente ²		5 – 10 m ³ /h
Cd		<0,5 – 3 ¹
Hg		0,86 ¹
Estaño orgánico		<0,3 – 2,0 ¹
Residuo sólido		
Resinas usadas		
Partículas finas		
Filtro de lavado a contracorriente	Cuando se combina la resina con carbón activo como protector o filtro de lavado a contracorriente.	
Condiciones de referencia del gas de combustión: gas seco, 6 % O ₂		
¹ Estos valores corresponden a los valores máximos.		
² La regeneración de vapor puede producir grandes cantidades de efluente acuoso contaminado		

Tabla 3.108: Valores de emisión encontrados en diferentes regeneradores de intercambiadores iónicos.

[41, R.U., 1991], [42, R.U., 1995]

3.4.3.6 Emisiones de los tratamientos de ácidos y bases residuales

Actividad	Aire	Agua	Tierra y residuos
Tratamiento de ácidos residuales	Halógenos: HCl y HF NO _x	Halógenos: HCl y HF	
Tratamiento del ácido sulfúrico	Óxidos de azufre		

Tabla 3.109: Emisiones de los tratamientos de ácidos y bases residuales.

[55, UK EA, 2001]

3.4.3.7 Emisiones del tratamiento de residuos fotográficos

Tratamiento de los residuos fotográficos sólidos

Durante el triturado se producen emisiones de polvos. Éstos se tratan con un filtro de polvos. Las emisiones de polvo al aire oscilan entre 2 y 5 mg/Nm³. La cantidad estimada es de 29 g/t de residuo de películas.

Tratamiento de los residuos fotográficos líquidos

Emisiones al aire

El tratamiento de residuos fotográficos, sobre todo de fijadores, puede generar emisiones al aire de amoníaco, ácido acético y COV.

Las emisiones de tratamientos físico-químicos se reducen tratando el aire de escape en un reactor de oxidación húmeda. Las concentraciones en los gases de salida de hidrocarburos son

aproximadamente de 600 mg/Nm^3 y de $\text{NH}_3 < 2 \text{ mg/Nm}^3$. Las emisiones del tratamiento biológico se reducen por medio de una supervisión y una regulación automática continuada del aporte de oxígeno y aire. Se calcula que el valor máximo de la emisión total de hidrocarburos es de 20 g/t de agua residual.

Durante la evaporación, se evaporarán algunos compuestos junto con el agua. La mayoría de éstos se condensarán. Los compuestos que no se condensan atraviesan el tratamiento biológico que funciona como un reactor. Las emisiones producidas durante la evaporación son insignificantes.

Emisiones al agua

En la tabla 3.110 se presentan las emisiones al agua de los tratamientos biológicos y físico-químicos. El residuo líquido fotográfico desplateado es sólo uno de los residuos líquidos procesados. Por tanto, las emisiones que se presentan ofrecen una indicación aproximada de las posibles emisiones que se producen en el tratamiento de este flujo residual.

Componente	Emisión (g/t de agua residual)
Sólidos en suspensión	9
Cloruro	29
Sulfuro	0,3
DQO	172
DBO	4
N-total (Kjeldahl)	351
Fósforo	2

Tabla 3.110: Emisiones al agua del tratamiento de residuos líquidos fotográficos y de otras aguas residuales.
[156, VROM, 2004]

3.4.4 Residuos salientes de los tratamientos de regeneración/reciclaje

En algunos casos los materiales obtenidos mediante estos tratamientos son productos comerciales con pequeñas diferencias en comparación con los productos vírgenes.

Aceite usado rerrefinado

La calidad del aceite de base obtenido depende del tratamiento aplicado, por ejemplo, para eliminar los HAP, es necesario aplicar procesados fuertes que implican hidrotreatmento.

Los aceites usados de lubricantes varían en función del origen y el tipo de aceite recogido. Estas variaciones se reflejan en los productos del aceite de base de las instalaciones de tratamiento de arcillas/ácidos, en términos de densidad, viscosidad, índice de viscosidad, contenido en azufre, etc. Sin embargo en las unidades de hidrotreatmento/destilación al vacío, los productos del aceite de base presentan menores variaciones en dichos términos, con la excepción del contenido en azufre. Las características de los aceites de base rerrefinados procedentes de diferentes procesos e instalaciones de producción varían enormemente.

Algunas tecnologías de rerrefinado permiten producir aceites de base de primera calidad: al menos aceites del Grupo I según la clasificación de aceites del Instituto Americano del Petróleo; y cuando se recurre a acabados fuertes con agua o disolventes, aceites de base del Grupo II. Las existencias de aceites de base que produce la industria europea del rerrefinado a día de hoy se encuadran en el Grupo I. Dichas existencias son aceites minerales refinados con disolventes. Contienen fundamentalmente los aceites más saturados y azufrados, y presentan los índices de viscosidad más bajos. Presentan el grado más bajo de lubricación. Las existencias del Grupo I son las menos caras de producir. En la actualidad suponen aproximadamente el 75 % de todas las existencias de aceites de base incluidas las existencias de aceites de base «convencionales».

Casi todas las instalaciones de rerrefinado de aceites usados realizan pruebas para determinar el contenido de cloro y de agua, y normalmente el de PCB. El aceite final valorizado se analiza porque debe cumplir con las especificaciones del usuario final, aunque no todas las instalaciones de tratamiento de aceites combinan un producto final para su venta ni realizan dichos análisis. La tabla 3.111 muestra un ejemplo de un análisis del producto llevado a cabo en una instalación de valorización de aceites, en la que se aplican diferentes grados de hidrotreatmento a tres tipos diferentes de aceites de base (aceite lubricante ligero, pesado y para husillos).

Tipo de alimento	Lubri- cante para husillos	Baja intensidad *1	Alta intensidad #2	Lubri- cante ligero	Baja intensi- dad *3	Alta intensidad #4	Lubri- cante pesado	Baja intensidad *5	Alta intensidad #6
Densidad 15/4	0,8678	0,8606	0,8526	0,8767	0,8699	0,8604	0,8868	0,8786	0,8676
Viscosidad a 40 °C (cSt)	26,91	23,8	21,19	56,52	49,85	38,18	117,2	97,86	70,08
Viscosidad a 100 °C (cSt)	4,76	4,5	4,2	7,78	7,32	6,37	12,24	11	9,1
Índice de viscosidad	93	103	100	102	107	117	94	97	105
Color	6,5	L 0,5	L 0,5	7,5	L 1	L 0,5	>8	L 2	L 0,5
Asfaltenos (peso-%)	0,0105	-	-	0,0092	-	-	<0,01	-	-
Carbono Conradson (peso-%)	0,63	<0,1	<0,1	0,12	<0,1	<0,1	0,33	<0,1	<0,1
Nitrógeno (ppm)	280	49	<1	312	57	<1	307	137	<1
Azufre (ppm)	0,412	0,1025	0,0005	0,526	0,163	0,0008	0,7285	0,2735	0,0021
Método ndM (peso-%)									
Carbono aromático	12,11	10,72	8,72	11,63	10,25	8,48	11,94	10,22	8,18
Carbono parafínico	71,20	72,06	72,76	72,66	73,42	75,09	72,68	73,75	75,57
Carbono nafténico	16,70	17,22	18,52	15,70	16,32	16,43	15,38	16,03	16,25
Análisis por cromatografía de gases en ppm									
Antraceno	<1	<1	<0,5	<1	<1	<0,5	<1	<1	<0,5
Benzo(a)antraceno	37	<1	<0,5	4	<1	<0,5	3	<1	<0,5
Benzo(k)fluoranteno	5	<1	<0,5	2	<1	<0,5	<1	<1	<0,5
Benzo(b)fluoranteno	25	<1	<0,5	11	<1	<0,5	4	<1	<0,5
Benzo(gui)perileno	16	<1	<0,5	40	4,7	<0,5	12	2,30	<0,5
Benzo(a)pireno	16	<1	<0,5	11	<1	<0,5	4	<1	<0,5
Criseno	3	<1	<0,5	2	<1	<0,5	-	<1	<0,5
Dibenzo-ah-antraceno	<1	<1	<0,5	2	<1	<0,5	<1	<1	<0,5
Fluoranteno	24	<1	<0,5	2	<1	<0,5	<1	<1	<0,5
Indeno(123-cd)pireno	10	<1	<0,5	27	<1	<0,5	6	<1	<0,5
Fenantreno	2	8,7	<0,5	<1	1	<0,5	<1	1,30	<0,5
Pireno	34	5,8	<0,5	<1	<1	<0,5	2	<1	<0,5
PNA IP 346 (peso-%)	2,8	1	0,2	1,3	0,6	-	1	0,6	0,2
* Baja intensidad en el hidrotreatmento de la fracción ligera. Temperatura del primer catalizador: 300 °C. Temperatura del 2.º catalizador: 280 °C. Presión parcial del H ₂ : 105 bar.									
# Alta intensidad en el hidrotreatmento de la fracción ligera. Temperatura del primer catalizador: 340 °C. Temperatura del 2.º catalizador: 340 °C. Presión parcial del H ₂ : 105 bar									
Total LHSV (h ⁻¹): ¹ :0,507; ² :0,5; ³ :0,507; ⁴ :0,292; ⁵ :0,481; ⁶ :0,295									

Tabla 3.111: Efecto del hidroacabado en los contaminantes del alimento después del desasfaltado. [36, Viscolube, 2002]

El aceite de base producido depende más de la tecnología empleada para tratar el aceite usado que de las diferencias entre los aceites usados recogidos. En la tabla 3.112 se muestran algunos ejemplos.

Proceso (desasfaltado, desmetalización + acabado)	Productos principales (Valores correspondientes a kg/tonelada de aceite usado)
Ácido sulfúrico + tratamiento de arcilla	Aceite de base rerrefinado de baja calidad: 621 El contenido en HAP de los aceites de base producidos puede ser comparativamente alto (de 4 a 17 veces superior al de los aceites de base vírgenes). Gasóleo: 70
Sosa cáustica y tratamiento de tierra de blanqueo	Aceite de base rerrefinado de alta calidad (Grupo II): 520 Productos finales ligeros: 170 Gasóleo: 170
Destilación al vacío	En los equipos modernos de destilación al vacío para el procesado de aceites usados de lubricantes, el destilado producido presenta una concentración de metales inferior a 1 ppm (según los otorgantes de la licencia).
Destilación al vacío + tratamiento químico o tratamiento de arcilla	Los aceites de base producidos mediante el tratamiento de arcilla o mediante tratamiento químico presentan una concentración de metales inferior a 1 ppm. Este proceso puede que no reduzca el contenido en HAP del aceite tanto como el hidrot ratamiento.
Evaporador de películas finas (EPF) + tratamiento de arcilla	Aceite de base rerrefinado de calidad media: 530 – 650 Gasóleo: 150
EPF + hidroacabado	Aceite de base rerrefinado de alta calidad: 630 Gasóleo: 100
EPF + extracción de disolvente	Aceite de base rerrefinado de alta calidad: 600 Gasóleo: 120 – 150
EPF + extracción de disolvente + hidroacabado	Aceite de base rerrefinado de alta calidad Lubricante del grupo II: 370 Lubricante del grupo I: 300 Gasóleo: 85
DAT (desasfaltado térmico) + tratamiento de arcillas	Aceite de base rerrefinado de calidad media: 500 - 600 Gasóleo: 60 – 80
DAT + hidroacabado (alta presión)	Aceite de base rerrefinado de alta calidad: 670 Gasóleo: 70
DAP (desasfaltado con propano) + hidroacabado (media presión)	Aceite de base rerrefinado de alta calidad: 660 – 700 Gasóleo: 43 – 55 Este proceso produce más productos comercializables que la regeneración mediante tratamiento químico.
Destilación y tratamiento de bases (vaxon-cator)	
Destilación al vacío + tratamiento químico o tratamiento de arcilla	Producen lo mismo que el hidrot ratamiento o la extracción de disolvente.
hidrogenación por contacto directo (DCH)	Aceite de base (grupo II): 770 – 820 Productos finales ligeros: 20 – 40 Combustibles pesados o gasóleo: 70 – 80
Tratamiento térmico de arcillas	
Hidroacabado	
Destilación al vacío + tratamiento químico	Aceite de base: 540 kg Fuelóleo: 6105 MJ Betún: 48 kg Otros combustibles: 3720 MJ Ahorro de combustible

Tabla 3.112: Problemas relacionados con las diferentes técnicas de regeneración de aceites usados. [6, Silver Springs Oil Recovery Inc., 2000], [7, Monier y Labouze, 2001], [11, Jacobs y Dijkmans, 2001], [13, Marshall, et al., 1999], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [139, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

Disolventes regenerados

Probablemente el producto más deseado en la valorización de disolventes es uno que se pueda utilizar en lugar de un disolvente nuevo en el sitio donde se utilizó inicialmente. Esto no implica necesariamente que el disolvente valorizado cumpla con las mismas especificaciones que el material virgen. Las especificaciones del nuevo disolvente normalmente las determinará un comité formado por representantes de los usuarios y de los fabricantes que conocen cuáles son las posibles impurezas en un producto fabricado mediante un proceso establecido. Las especificaciones deben satisfacer todos los usos potenciales, aunque para algunos usuarios algunas especificaciones pueden resultar irrelevantes.

Propiedad del producto	Unidad	DIN 53978	PERC
Color	HAZEN	<15	<5
Agua	ppm	<50	<25
PERC	Área-%	≥99,9	>99,98
Suma de 1,1,1-tricloroetano y tricloroetileno	Área-%	0,025 ± 0,003	<0,02
Densidad relativa	g/ml	1,620 - 1,625	1,624
Alcalinidad	ppm NaOH	≤30	25
<i>Evaporación</i>			
Residuo	ppm	≤50	25
Libre de cloro		0	0
Datos de una instalación para la destilación de hidrocarburos clorados			

Tabla 3.113: Especificación de productos para el tratamiento de compuestos cloro-orgánicos frente al estándar DIN.
[147, UBA, 2003]

Catalizadores regenerados

La tabla 3.114 muestra el grado de carbono y de azufre, el área de la superficie, y la longitud media del alimento de catalizador agotado y del producto regenerado a partir de las regeneraciones de partículas y zonas. Se analizó el área de la superficie del catalizador agotado tras la regeneración en laboratorio.

Calidad del Producto	Catalizador agotado del lecho superior del segundo reactor	Regeneración de zonas	Regeneración de partículas
Carbono, peso-%	22	0,7	0,9
Azufre, peso-%	7,5	0,9	0,8
Área de la superficie, m ² /g	185	190	197
Longitud media, mm	2,56	2,72	2,68
Los valores de arriba corresponden a la regeneración de más de 580 toneladas de catalizador agotado de hidrot ratamiento CoMo procedente del sistema de hidrot ratamiento del destilado del cliente en 1997. La unidad poseía dos reactores con dos lechos de catalizadores por reactor. El análisis preliminar mostró que puede recuperarse el catalizador de los cuatro lechos, aunque, como se preveía, los catalizadores de mayor calidad se encontraban en el producto final del fondo de la unidad.			

Tabla 3.114: Regeneración comercial del catalizador CoMo.
[125, Ruiz, 2002]

En general, el catalizador agotado estaba muy cargado de hidrocarburos (15 peso-%) y de coque (la pérdida total durante el encendido es del 30%). La empresa comenzó a regenerar el catalizador de calidad superior del lecho inferior del segundo reactor y trabajó a la inversa hacia el catalizador al frente de la unidad. El trabajo comenzó antes de llegar a la instalación de regeneración de partículas finas, así que al principio el catalizador se sometía a gas inerte en la unidad para arrancar las partículas de una zona.

Si se comparaban las propiedades de ambos productos regenerados, estas eran mejores que las del catalizador agotado. Las áreas de las superficies de las muestras regeneradas fueron ligeramente superiores que las de las regeneradas en el laboratorio.

3.5 Emisiones y consumos de los tratamientos de residuos para producir un material que se utilice como combustible

[4, Langenkamp, 1997], [6, Silver Springs Oil Recovery Inc., 2000], [7, Monier y Labouze, 2001], [8, Krajenbrink, et al., 1999], [11, Jacobs, 2001 #11], [12, Birr-Pedersen, 2001], [14, Ministry for the Environment, 2000], [16, ÓWAV Working Committee, 2002], [37, Woodward-Clyde, 2000], [52, Ecodeco, 2002], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [57, EIPPCB, 2001], [58, CEFIC, 2002], [64, EIPPCB, 2003], [81, VDI y Dechema, 2002], [86, GTT, 2003], [119, Watco, 2002], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [128, Ribí, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

En este apartado se recogen las emisiones y consumos de los tratamientos mencionados en el apartado 2.5, por ejemplo, tratamientos destinados a procesar residuos para producir un material que se utilice como combustible. Los siguientes apartados (apartados 3.5.X) ofrecen información detallada para los operadores de los centros tomada por sus actuales sistemas de registro y señalan las zonas en donde es probable que se produzcan las emisiones. En el apartado 3.1 se tratan las emisiones relacionadas con los tratamientos auxiliares, por ejemplo, funcionamiento de las centrales de traslado.

3.5.1 Residuos de entrada para la preparación de combustibles

En la tabla 3.115 se muestran algunos ejemplos de tipos de residuos utilizados para la producción de combustibles sólidos o líquidos.

Tipo de combustible a preparar	Tipo de residuos	Ejemplos
Combustible de residuos sólidos	Residuos pastosos (principalmente provenientes de residuos peligrosos)	Disolventes de alta viscosidad, lodos de aceites, residuos de destilación, lodos provenientes del tratamiento de lodos industriales (industria mecánica, química, farmacéutica, etc.), lodos de pintura y barniz, lodos de tinta, poliol, pegamentos, resinas, grasas, otros residuos pastosos.
	Residuos en forma de polvo (principalmente provenientes de residuos peligrosos)	Negro de carbón, polvo de tóner, pinturas, catalizadores gastados, agentes tensoactivos, otros polvos
	Residuos sólidos (principalmente provenientes de residuos peligrosos)	Polímeros contaminados, serrín impregnado, lodos provenientes de tratamiento de aguas residuales, resinas, pinturas, pegamentos, carbón activo usado, suelos contaminados, lodos de hidrocarburos, absorbentes contaminados, residuos orgánicos de las industrias química y farmacéutica, embalajes plásticos usados, residuos de madera, otros residuos sólidos
	Residuos líquidos no aptos para la preparación de combustible líquido (principalmente procedentes de residuos peligrosos)	Líquidos con riesgo de polimerizarse
	Residuos sólidos no peligrosos	Residuos sólidos domésticos y comerciales, residuos de embalajes, madera, papel, cartón, cajas de cartón (02, 03, 15, 17, 19, 20), textiles, fibras (04, 15, 19, 20), plásticos (02, 07, 08, 12, 15, 16, 17, 19, 20), otros materiales (08, 09, 15, 16, 19), componentes de alto poder calorífico de residuos mezclados (17, 19, 20), residuos de la construcción y demolición, componentes separados en origen de RSM, residuos comerciales e industriales separados
Combustible líquido a través del mezclado	Combustible líquido orgánico	Disolventes, xilenos, toluenos, espíritu de petróleo, acetona, disolventes de limpieza y desengrasado, residuos del petróleo, residuos de destilación, productos líquidos orgánicos sin especificación
Combustible líquido por fluidificación	Combustible líquido orgánico	Disolventes usados, residuos orgánicos pastosos (lodos de tinta, de pintura, residuos adhesivos, etc.), residuos de aceites, residuos en forma de polvo, como polvo de pintura, tortas de filtrado, residuos de síntesis química orgánica, grasas y aceites, resinas de intercambio de iones, residuos de destilación, residuos de industrias cosméticas
Combustible líquido por emulsiones	Combustible líquido orgánico	Emulsiones de aceite provenientes de industrias metalúrgicas, residuos y lodos que contienen aceite del refinado de petróleo, provenientes de la recolección y almacenamiento de aceites, residuos de la destilación y regeneración de aceites, fallos de producción, residuos pastosos como grasa, tinta y residuos adhesivos, residuos de detergentes, bases usadas como sodio, aceites usados de lubricantes

Nota: los números entre paréntesis se corresponden a los códigos de los capítulos de la LER

Tabla 3.115: Algunos ejemplos de los tipos de residuos utilizados para la preparación de combustibles sólidos y líquidos
 [21, Langenkamp y Nieman, 2001], [50, Scori, 2002], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

En la tabla 3.116 se muestran los poderes caloríficos típicos de algunos tipos de residuos.

Tipo de residuo	Poder calorífico (MJ/kg)
Residuos peligrosos	21,0 – 41,9
Residuos industriales no peligrosos	12,6 – 16,8
Residuos urbanos	7,5 – 10,5
Plástico	21,0 – 41,9
Madera	16,8
Neumáticos	25,1 – 31,4

Tabla 3.116: Poderes caloríficos típicos de diferentes tipos de residuos [4, Langenkamp, 1997], [150, GTT, 2004]

Las instalaciones de preparación de combustibles y las instalaciones de combustión que puedan usar residuos como (parte de su) combustible normalmente admiten más de un tipo de residuos. Algunos tipos de materiales residuales que se utilizan para la coincineración se muestran en la tabla 3.117.

Tipo de residuo	Instalaciones de combustión (incluyendo calefacción de distrito y motores marinos)	Hornos de cemento	Hierro y acero (altos hornos)	Cerámica (hornos de ladrillo)	Hornos de cal	Producción de asfalto	Pasta y papel
Productos animales	Subproductos animales Subproductos cárnicos y huesos Sebo Estiércol Desperdicios de pollo Grasa	Subproductos cárnicos y huesos					
Residuos de carbón vegetal	Residuos de carbón vegetal ¹						
Productos químicos	Ácidos orgánicos Disolventes líquidos Gas de horno de fósforo	Disolventes usados Lodos de pintura Hidrocarburos Residuos de destilación					
Residuos urbanos	CDR Papel usado Materiales de embalaje Plásticos Textiles Madera	CDR Papel usado Plásticos Textiles Madera	CDR Plásticos Textiles Madera	CDR Textiles Madera	CDR Textiles Madera	CDR	Papel usado
Materiales oleosos	Alquitrán Aceite usado	Aceites usados Aceites de corte	Aceites usados		Aceites usados	Aceites usados	
Goma	Tiras de neumáticos	Neumáticos usados Goma Residuos troceados de automóviles Alfombras		Neumáticos usados			
Lodos	Lodos de aguas	Lodos de aguas					

	residuales	residuales Lodos de papel					
Productos vegetales	Cultivos para energía, como sauce Residuos agrarios como paja, plantas de cereales, pastos del cultivo de tierras						
Madera	Residuos de madera Madera de demolición Residuos forestales Astillas de madera Bolas o briquetas de biomasa	Residuos de madera					

¹ Se han realizado algunas pruebas sobre su utilización en hornos de cúpula de fundiciones.
Nota: la tabla no se debe considerar como exhaustiva. Se podrían utilizar otras combinaciones no mencionadas.

Tabla 3.117: Algunos tipos de materiales utilizados en algunos procesos de coincineración [4, Langenkamp, 1997], [57, EIPPCB, 2001], [64, EIPPCB, 2003], [81, VDI y Dechema, 2002], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

En los apartados siguientes, con títulos en negrita, se proporciona una información más detallada sobre cada tipo de residuos utilizados como combustible. En algunos casos se ofrece la composición típica del tipo de residuos.

Productos químicos

Los residuos de pintura y de disolventes tienen un poder calorífico de más de 21 MJ/kg antes de secarse. El contenido en cloro, cadmio y cinc puede ser alto.

Residuos sólidos municipales

En la tabla 3.118 se muestran algunas características de los residuos sólidos municipales, y algunos de los componentes que se pueden utilizar como combustible.

Residuos sólidos municipales	Poder calorífico (MJ/kg sin secar)	Otros componentes
Residuos sólidos municipales genéricos	5 – 8	Cl: 0,5 – 1,0 % El contenido en algunos metales puede ser alto
Desechos de residuos sólidos municipales	8 – 11	Cl: 0,5 – 1,0 % El contenido en algunos metales puede ser alto
Papel	11 – 14	0,5 % de Cl, 33 ppm de Pb y 0,3 ppm de Cd
Celulosa (20 %-peso de contenido en cenizas y humedad 5 %)	12,3	
Celulosa (20 %-peso de contenido en cenizas y humedad 40 %)	5,7	
Polietileno (20 %-peso de contenido en cenizas y humedad 40 %)	16,5	
Polietileno (0 %-peso de contenido en cenizas y humedad 40 %)	25,3	
Polietileno (0 %-peso de contenido en cenizas y humedad 5 %)	41,5	
Polietileno de densidad dura (impreso)		Volátiles ¹ 97 %, ceniza ² 2 %, carbón fijado 0,3 %
Polipropileno		Volátiles 100 %, ceniza <0,05 %
Poliestireno		Volátiles 97 %, ceniza 3 %

PVC		Volátiles 92 %, ceniza <0,05 %, carbón fijado 8 %
Plásticos	23,7 – 28,4	Cd: 0,7 - 72 ppm Cl: 1 – 4,5 % Cr: 48 ppm Hg: 1,3 ppm Pb: 98 - 739 ppm Tl: 0,3 ppm Zn: 550 ppm
Compuestos	13,3 – 16,2	Cd: 0,2 - 37 ppm Cl: 0,5 – 4,0 % Pb: 48 - 500 ppm
Textiles, cuero y zapatos	17,1	Cd: 2,2 ppm Cl: 1,2 % Pb: 96 ppm
¹ Los plásticos se volatilizan tras la fusión por despolimerización		
² El polímero puro está libre de cenizas, pero éstas provienen de la impresión y los pigmentos		

Tabla 3.118: Características importantes de los RSM, y de algunos de sus componentes, para su utilización como combustible [4, Langenkamp, 1997], [8, Krajenbrink, et al., 1999], [16, ÖWAV Working Committee, 2002], [81, VDI y Dechema, 2002], [150, GTT, 2004]

Plástico residual

Los procedimientos de valorización de energía a partir de flujos de plásticos residuales, en pruebas a escala completa, se han estado llevando a cabo durante un período de tiempo lo suficientemente largo como para demostrar las condiciones operativas repetibles y estables, documentar el efecto que el plástico residuales tienen en la operación y también para indicar qué materiales y emisiones se producen. A continuación se presenta una vista general del programa APME TEC.

Tecnología de combustión	Uso de la energía	Embalaje	Comercial	Automoción	Eléctrica y electrónica	Agricultura	Construcción
Tipo parrilla	Calefacción de distrito y calor/ electricidad	RPU		RT			Espumas
Lecho fluidizado (LF)	calor / electricidad	RPU, RT					
Carbón pulverizado	electricidad	RPU				Películas	
Horno rotatorio	cemento	RPU			Espuma		
Horno industrial	no ferroso				RTE		
Lecho fluidizado circulante	pulpa de papel	RPU	Residencial	RT			

Nota: RPU: residuos plásticos urbanos (algunas veces se han de triturar antes de utilizarse); RT: residuos triturados; RTE: residuos triturados procedentes de electrodomésticos

Tabla 3.119: La utilización del plástico residual proveniente de diversos sectores industriales como combustible [58, CEFIC, 2002] [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

Materiales oleosos

Aceites usados

En el apartado 3.4.1. se puede encontrar más información sobre la composición de los aceites usados. Los aceites usados de lubricantes pueden tener un contenido significativo, pero variable, de cloro, incluyendo organoclorados. El destino de dichos compuestos de cloro variará, no sólo según la vía de tratamiento, sino también según la forma en la que se presenta el cloro. Resulta, por lo tanto, difícil realizar comentarios generales sobre los efectos del cloro, aparte de que en las vías de combustión existe un riesgo de formación de dioxinas y que en las opciones de reproceso existen riesgos de problemas de corrosión, emisión de gases ácidos y contaminación de los flujos de salida.

Los aceites lubricantes usados y los aceites recuperados de interceptores se venden para su utilización como combustible. Ya que esos aceites pueden crear depósitos de carbono cuando se queman, se tienden a utilizar en aplicaciones en las que esto no es un problema. Los principales usuarios son la industria de la piedra para carreteras y las centrales eléctricas de carbón, que los utilizan para la estabilización de las llamas y potenciación de la energía.

Fuelóleo residual

Los fuelóleos residuales tienen su origen en una gran variedad de situaciones, como el drenaje de un depósito de combustible para vehículos, cuando un depósito de combustible para calderas se ha de drenar al convertir la instalación al gas natural, o cuando los depósitos se retiran durante inspecciones de la instalación. Estos fuelóleos normalmente no están contaminados, aunque a veces se pueden haber deteriorado con el tiempo o presentar lodos del fondo del depósito, depositados durante muchos años de llenado. En la mayoría de las instalaciones, comparativamente se acepta poco de este tipo de material, y será razonable considerar su análisis comparable a fuelóleos «vendidos».

La gasificación está especialmente diseñada para procesar combustibles pesados, así como una amplia variedad de residuos de hidrocarburos.

Las especificaciones de los fuelóleos varían pero, en general, se utilizan más que enviarse para su tratamiento, y así las cantidades serán pequeñas. Normalmente tienen un punto de ebullición más bajo que el de los aceites lubricantes, contienen más hidrocarburos de cadena baja y tienen un riesgo mayor de emisiones de COV durante el tratamiento. Sin embargo, el contenido en metales es normalmente reducido (aunque se ha hallado vanadio y níquel en fuelóleos). Los HAP son normalmente estables y no volátiles. Los fuelóleos sin usar tienen un abanico de puntos de ebullición más bajos que los aceites lubricantes. En la tabla 3.120 se muestran comparaciones entre las composiciones de los fuelóleos y los aceites lubricantes.

	Longitud normal de la cadena de carbono	Abanico de puntos de ebullición (°C)	Compuestos relevantes
Queroseno	Destilado medio, C ₆ a C ₁₆	150 – 300	N alcanos, cicloalcanos, bajas concentraciones de monoaromáticos, bajas concentraciones de BTEX y HAP.
Fuelóleo (N.º 2)	Destilado medio, C ₈ a C ₂₁	200 – 325	BTEX muy bajo, tolueno 0,06 %, etilbenceno 0,034 %, xilenos 0,23 %, altas concentraciones de n - alcanos, (C ₈ 0,1 %, C ₂₀ 0,35 %), concentraciones más bajas de alcanos ramificados, cicloalcanos monoaromáticos, naftalinas (0,22 %) y HAP, níquel 0,00005 %
Fuelóleo (N.º 6)	Aceite residual, C ₁₂ a C ₃₄	350 – 700	BTEX muy bajo, naftalinas y HAP bajos, n - alcanos y cicloalcanos altos (C ₉ 0,0034 % - C ₂₀ 0,1 %), níquel 0,0089 %
Aceites lubricantes	Destilado parte pesada, C ₁₈ a C ₃₄	326 – 600	Concentraciones bajas de BTEX, concentraciones altas de alcanos ramificados y de cicloalcanos

Tabla 3.120: Composición típica de fuelóleos y aceites lubricantes [56, Babbie Group Ltd, 2002]

Goma

En la tabla 3.121 se muestran algunas características de neumáticos utilizados como combustible.

Parámetro	Valor	Unidades
Poder calorífico	36 – 38	MJ/kg
Cloro	0,15 – 0,25	%
As	<2	ppm
Cd	<5 – 10	ppm
Co	<5 – 27	ppm
Cr	<5 – 97	ppm
Cu	10 – 30	ppm
Hg	0,17 - <1	ppm
Mn	6 – 11	ppm
Ni	<5 – 40	ppm
Pb	<5 – 410	ppm
Sb	55 – 410	ppm
Sn	14 – 21	ppm
Tl	0,25 – 75	ppm
V	<5 – 60	ppm
Zn	14,5 – 16,1	g/kg

Tabla 3.121: Características de combustibles de neumáticos [4, Langenkamp, 1997]

Lodos

Los lodos contienen normalmente agua. Un incremento en el contenido en agua para una composición seca dada de lodos hace disminuir su poder calorífico. Por ejemplo, unos lodos con un contenido del 33 % de materia seca tienen un poder calorífico de menos de 5 MJ/Kg de materia húmeda. El contenido en cloro es normalmente bajo pero el contenido en mercurio puede ser significativo en ciertos lodos.

Madera

El serrín, las astillas de los aserraderos y el PVC tienen un poder calorífico de entre 14 y 21 MJ/kg de materia húmeda. Los residuos de la construcción tienen un poder calorífico de entre 14 y 17 MJ/kg de materia húmeda. En la tabla 3.122 se muestran algunos parámetros físico-químicos de los productos susodichos.

Metales	Concentración (ppm)
Poder calorífico más bajo (MJ/kg)	17,3
Cl	0,1 %
Cd	0,7 – 3,4
Cr	50
Hg	0,2
Pb	53 – 1000
Tl	<0,1
Zn	1500

Tabla 3.122: Contenido en metales de residuos de madera [4, Langenkamp, 1997], [81, VDI y Dechema, 2002]

3.5.2 Consumos en la preparación de combustible a partir de residuos

Consumos en la preparación de aceite usado, para ser usado como combustible

Material consumido	Aplicación
Productos químicos antioxidantes	Se añaden a fuelóleos ligeros y a fracciones destiladas ligeras con el objetivo de estabilizar los productos

Tabla 3.123: Consumos en el tratamiento térmico de aceites usados [119, Watco, 2002]

Residuos de salida	Principalmente para producir fuelóleo ¹	Unidades (por tonelada de aceite usado de entrada)
Fuelóleo (700 MJ y <0,5 % S)	849	kg
Combustibles secundarios ²	63	kg
Consumos		
Consumo de combustibles fósiles	4	eq. aceite sin refinar
Energía primaria	343	MJ
Consumo de agua	431	kg
1 Craqueo térmico: tratamiento térmico y químico (con H ₂ SO ₄)		
2 Muchos de ellos son combustibles residuales generados durante el proceso		

Tabla 3.124: Consumos generados por el craqueo térmico de aceites usados [7, Monier y Labouze, 2001], [152, GTT, 2004]

Elementos de salida	Cantidad (por tonelada de aceite usado de entrada)	Unidades
Metanol	1080	kg
Ahorro en la entrada primaria de combustibles usados normalmente en la gasificación		
Consumos		
Combustible fósil	109	kg eq. aceite sin refinar
Energía primaria	7110	MJ
Consumo de agua	1350	kg

Tabla 3.125: Elementos de salida generados por la gasificación de aceites usados

[7, Monier y Labouze, 2001]

Consumos en la preparación de residuos peligrosos que serán utilizados como combustible

Consumos	Combustible residual sólido	Combustible residual líquido
Electricidad (kWh/tonelada de combustible residual producido)	5 – 25	5 – 20
Combustible (litro/tonelada de combustible residual producido)	0,15 – 3	0,05 – 2
Adsorbentes	Se utilizan entre el 20 y el 40 % de adsorbentes por tonelada de combustible residual producido, dependiendo de las especificaciones requeridas. Los tipos de adsorbentes son serrín fresco, serrín proveniente de recuperación de madera, poliuretano, subproductos del papel, textiles, etc.	
Agua (litros/tonelada de combustible residual - para limpieza de instalaciones, camiones y eventualmente tambores; mantenimiento, regado de instalaciones para la eliminación de polvo) ¹	5 – 20	5 – 20
m ³ de nitrógeno/tonelada de combustible residual producido (inertización de mezcladoras, trituradoras o almacenamiento líquido)	1 - 2,5	1 - 2,5
Otras materias primas para el tratamiento de residuos		
<p>Notas: los datos sobre energía no incluyen el consumo de energía para la ventilación y el tratamiento del aire. Los consumos de electricidad varían mucho según el tipo de residuos, el embalaje y el nivel de automatización. Por ejemplo, en el caso de tambores embalados que se han de triturar, el consumo de electricidad puede alcanzar los 25 kWh/t, mientras en el caso de residuos en forma de fibra, en una línea de proceso no automatizada, estará entre 5 y 10 kWh/t. Además, cuando el consumo eléctrico es alto, el consumo de combustible es normalmente bajo.</p> <p>El consumo de combustible se dedica a los vehículos industriales y de automatización.</p> <p>El consumo total de energía representa menos del 5 % del contenido total de energía del combustible residual.</p> <p>¹ El consumo de agua está relacionado con unas buenas prácticas e instalaciones industriales. Varía mucho según el tipo de residuos, el embalaje y el eventual uso de agua de lluvia recogida. Si los tambores o contenedores se tienen que limpiar o enjuagar para su uso posterior, se requiere un consumo adicional de 2 a 20 l/tonelada.</p>		

Tabla 3.126: Consumos en la preparación de residuos peligrosos que serán utilizados como combustible

[122, Eucopro, 2003]

Consumos en la preparación de combustible residual a partir de residuos sólidos municipales

En la tabla 3.127 de más abajo se muestra una vista general de las instalaciones que han proporcionado datos para este apartado.

Tipo de instalación	Tipo de producción de combustible residual	Capacidad (kt/año)	Consumo de energía (MWh/año)	Consumo de energía específico (kWh/t material de entrada)
Instalaciones de procesamiento de residuos comerciales	Pellets duros/blandos	40	2400	109
Tratamiento de residuos mecánico-biológicos	Pellets blandos, pelusas	55	2300	38 – 56
Instalaciones de procesamiento de residuos comerciales	Pellets blandos, pelusas	65	1268 – 1902	40 – 59
Procesamiento de RSM sin el paso de descomposición biológica		80	781	40
Tratamiento mecánico-biológico de residuos	Pelusas	100	5800	92
Instalación de procesamiento de la fracción altamente calorífica del procesamiento de RSM y de residuos comerciales	Pellets blandos, pelusas	100	315 – 405	32 – 41
Instalaciones de procesamiento de residuos comerciales	Pellets blandos, pelusas	100	1080 – 1620	36 – 54
Tratamiento mecánico-biológico de residuos	Fracción altamente calorífica en pacas	110	1870	17
Tratamiento mecánico-biológico de residuos	Pellets blandos, pelusas	110	4000	33 – 40
Tratamiento mecánico-biológico de residuos	Pelusas	600	2760	
Procesamiento de RSM sin el paso de descomposición biológica	Pelusas	840	23.650	30
Tratamiento de desechos residuales sólidos municipales				60 Separación: 8 – 15

Tabla 3.127: Ejemplos de consumos para la preparación de combustibles a partir de RSM [52, Ecodeco, 2002], [66, GTT, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004], [156, VROM, 2004], [157, UBA, 2004]

Capacidad (kt/año)	Consumo de combustible (GJ/año)	Consumo eléctrico (MWh/año)	Consumo eléctrico específico (kWh/t)	Consumo de agua específico (m ³ /t)
65	38.475	3575	55	0,078
86	0	5831	68	0,0019
100		1050	10,5	

Tabla 3.128: Ejemplos de consumos para la preparación de combustible a partir de residuos no peligrosos [66, GTT, 2003]

La gran diferencia en consumo de energía en relación con la cantidad de material de entrada tiene relación con el tipo de instalación de procesamiento y del tipo de combustible de residuos sólidos generado, por ejemplo, existen diferencias si hay instalaciones de secado disponibles o si el combustible de residuos sólidos generado se realiza en diferentes tamaños y formas de pellets.

Excepto en el caso de procesos de secado térmicos, para la producción de combustible a partir de residuos sólidos no se necesita combustible, sólo se requiere para hacer funcionar los vehículos de la zona de proceso, como carretillas elevadoras y cargadores de ruedas. Un productor de secado térmico informó de un consumo de gas de unos 21.250 GJ por año. Este consumo específico asciende a 1390 MJ/t de material de entrada.

En general, no se hace uso de más ingredientes aparte de los residuos para el producto final. Para garantizar unas operaciones libres de fallos, el equipamiento y el material de manipulación tienen que lubricarse. Se utilizan varios detergentes. Además, existen productos auxiliares aplicados para ayudar en el proceso de limpieza de los gases de escape, como el hidróxido de sodio (consumo: 18 kg/kt) y el fosfato de sodio (consumo: 3 kg/kt).

La separación, descomposición y degradación biológica requieren energía. El consumo de electricidad por separación y descomposición es aproximadamente de 60 kWh/t de material de entrada; dentro de este consumo la separación representa alrededor de 8 a 15 kWh. Por medio de la incineración del biogás en un motor de gas, con una eficacia del 35 %, se producen alrededor de 120 kWh_e/t de residuos. Esto tiene como resultado una producción neta de aproximadamente 60 kWh_e/t. Producir el material descompuesto requiere aproximadamente 100 MJ_e/t de material de entrada. El secado biológico requiere también aproximadamente 100 MJ_e/t de material de entrada.

3.5.3 Emisiones por la preparación de combustible a partir de residuos

Emisiones por la preparación de combustible a partir de residuos sólidos municipales

El balance de material de la producción de un combustible residual se muestra en la siguiente tabla.

Producto combustible (por ejemplo, CDR)	Materia orgánica	Residuos no combustibles con una base inorgánica	Metales	Agua evaporada y CO ₂	Otros
55 – 50		20	5	20 – 25	
53 ¹		Vidrio: 4 Blanco: 3 Marrón: 0,5 Verde: 0,5 Minerales: 4 Polvo y partículas de desecho: 4	Metales ferrosos: 4 Metales no ferrosos: 1		Pilas: 0,05
Valores en kg/100 kg de entrada de residuos ¹ poder calorífico 15 – 18 MJ/kg					

Tabla 3.129: Ejemplos de emisiones por la producción de combustible residual a partir de RSM [52, Ecodeco, 2002], [81, VDI y Dechema, 2002]

En la tabla 3.130 se da una perspectiva general de las instalaciones que han facilitado datos para este apartado.

Tipo de instalación	Tipo de producción de combustible a partir de residuos sólidos	Capacidad (kt/año)	Cantidad de productos sólidos para el combustible (t/año)	% producto / residuos	Cantidad de gases de escape (m³/h)	Polvo (kg/año)	Olor (OU/m³)	Distancia de ruido hasta la ubicación de la inmisión (m) Presión acústica día / noche como aprobación técnica (dB(A))
Procesamiento de RSM sin el paso de descomposición biológica	Pelusas	23	17.400	76,7				
Instalaciones de procesamiento de residuos comerciales	Pellets blandos / duros	40	15.300	69,5	18.000			<40/<40
Instalaciones de procesamiento de residuos comerciales	Pellets blandos, pelusas	65	31.700	99,1	48.000			10 <70/<70
Procesamiento de RSM sin el paso de descomposición biológica	n.d.	80	16.300	84,0				
Tratamiento mecánico-biológico de residuos	Pelusas	100	30.700	48,7	45.000	394		
Instalación de procesamiento de la fracción altamente calorífica de RSM y de residuos comerciales	Pellets blandos, pelusas	100	9000	90,0	48.000			1000 <50/<35
Instalaciones de procesamiento de residuos comerciales	Pellets blandos, pelusas	100	27.000	90,0	48.000			1000 <50/<35
Tratamiento mecánico-biológico de residuos	Fracción altamente calorífica en pacas	110	19.500	17,7	120.000		406	200 50/39
Procesamiento de RSM sin el paso de descomposición biológica	Pelusas	840	90.000	11,5	90.000		220	650 38/37,5

Tabla 3.130: Perspectiva general de algunas instalaciones de producción de combustible a partir de residuos sólidos en la UE.
[126, Pretz, et al., 2003]

Capacidad	Unidades	Instalación A		Instalación B		Instalación C	
		Conc.	Carga	Conc.	Carga	Conc.	Carga
		65		86		98	
Gases	millón Nm ³				394,2		
Oxígeno	%			19		1,4	
CO ₂	t/año		11.765		8428		
P	mg/Nm ³ - kg/año	0		1	394,2		
SO _x	mg/Nm ³ - kg/año		1820	18,6	7332		
NO _x	mg/Nm ³ - kg/año	80	4699,5	47	18.527	12,5	
N ₂ O	mg/Nm ³ - kg/año				0		
COT	mg/Nm ³ - kg/año	40	2340	1,7	670,14		
CH ₄	kg/año		26.715				
CO	mg/Nm ³ - kg/año	80	4699,5	8,4	3311,28	16	
HCl	mg/Nm ³ - kg/año		78				
HF	mg/Nm ³ - kg/año		26				
Total metales	mg/Nm ³ - kg/año			0,4	197,1		
Hg	mg/Nm ³ - kg/año			3,7	1,46		
Cd + Tl	mg/Nm ³ - kg/año			0,4	0,197	0,08	
Clorobencenos	mg/Nm ³ - kg/año			0	0,0047		
PCDD/PCDF	ngTEQ/Nm ³ - g/año		0,0026	0,002	0,00079		
CFC	mg/Nm ³ - kg/año			0,044	17.345		
Olor	EU O.U./Nm ³ - mgE/año	0		110	43.362		
NH ₃	mg/Nm ³	0					

Tabla 3.131: Ejemplos de emisiones al aire por la preparación de combustible a partir de residuos no peligrosos [66, GTT, 2003]

Capacidad	Unidades	Instalación A		Instalación B		Instalación C	
		Conc.	Carga	Conc.	Carga	Conc.	Carga
		65		86		160	
Agua residual generada	m ³ /año		16.965		30.100		8000
BOD ₅	mg/l - kg/año			21			
COD	mg/l - kg/año		34.450	40			
N total (como N)	mg/l - kg/año			230			
Nitrito	mg/l - kg/año			1,8			
Nitratos	mg/l - kg/año						
Amoníaco	mg/l - kg/año		10.400				
Nitratos	mg/l - kg/año		650				
Sulfatos	mg/l - kg/año		325				

Tabla 3.132: Ejemplos de emisiones acuáticas por la preparación de combustible a partir de residuos no peligrosos [66, GTT, 2003]

Dependiendo del tipo de instalación, se pueden hallar grandes diferencias en la proporción entre la cantidad de residuos tratados y los productos de combustibles residuales. Esto se explica porque algunas instalaciones tratan residuos comerciales y otras tratan RSM. Además, los productores tienen maneras distintas de producir su combustible a partir de residuos. Por ejemplo, si el material fino se añade al producto de combustible residual y no se desecha en un vertedero, la cantidad de producto aumenta, pero su calidad disminuye significativamente. Otras instalaciones están aumentando su capacidad a través de modificaciones de sus operaciones o producen combustible a partir de residuos sólidos en producción combinada con instalaciones de proceso de RSM.

Los valores indicados están tomados de aprobaciones técnicas. Las diferencias que se observan en la amplia gama de valores se pueden explicar por la ubicación de las instalaciones de proceso, y por sus diversos materiales de entrada y tiempos de operación, por ejemplo, en algunos casos, operaciones en uno, dos o tres turnos.

Con referencia a la tabla 3.130, la diferencia entre la cantidad de materiales de entrada y de salida debe ajustarse teniendo en cuenta la cantidad de elementos potencialmente reciclables de los residuos, como los metales ferrosos y no ferrosos. El contenido de elementos potencialmente reciclables depende de la composición de los residuos, que puede variar mucho. Además, los residuos se pueden acumular durante el proceso de limpieza de los residuos por medio de gas.

Dependiendo del método de proceso, podrán generarse también algunos subproductos. Según la calidad de dichos subproductos, éstos se podrán reciclar directamente o se tratarán tras otro proceso más. Los subproductos actuales son normalmente metales ferrosos y no ferrosos y una fracción inerte. La calidad de los productos de metales ferrosos y no ferrosos depende del contenido de los residuos y del método de proceso aplicado. Los productos con una mayor calidad son aptos para el reciclaje de material.

La fracción inerte se utiliza a veces como material de construcción, por ejemplo, para la construcción de carreteras, o se desecha. En pocos casos se puede producir un material reciclado que se pueda utilizar directamente como materia prima, por ejemplo, algunos tipos de plásticos y vidrios. Además, por medio de la aplicación de un separador de aire, se puede acumular una fracción pesada, aplicable para su utilización energética.

La composición de los residuos que no son utilizados para combustible es diferente que la de los residuos de entrada y de salida. Depende de los residuos de entrada pero también del tratamiento dado. No se han proporcionado balances de los materiales que puedan mostrar las diferencias susodichas, así como los diferentes componentes de los residuos de entrada.

Emisiones por la preparación de residuos peligrosos que serán utilizados como combustible

Emisiones al aire

Emisiones	Origen	Combustible de residuos sólidos	Combustible de residuos líquidos
Polvo, absorbentes principalmente de serrín, residuos en forma de polvo (pinturas, resinas, detergentes, catalizadores, etc.)	Descarga y manipulación de absorbentes o residuos en forma de polvo	m	n/a
	Proceso	b/m	b (sobre todo para fluidificación)
	Carga	m	n/a
	Resultados conseguidos (mg/Nm ³) ¹	1 – 10	1 – 5
COV y olor	Muestreo	b/m	m/a
	Operación de descarga (camión, tambores y contenedores)	m	m/a
	Proceso	m (tamizado)	b
	Resultado conseguible NmCOV (mg/Nm ³) ²	10 – 50	10 – 110
Notas: ¹ por medio de filtros de mangas ² por medio de oxidante térmico regenerativo para combustibles de residuos sólidos y por oxidante térmico regenerativo o por tratamiento con carbón activo para combustibles de residuos líquidos b: emisiones bajas – m: emisiones medias– a: emisiones altas – n/a: no aplicable			

Tabla 3.133: Emisiones al aire por la preparación de combustible residual a partir de residuos peligrosos [122, Eucopro, 2003]

Los COV y el olor

La mayoría de los residuos aceptados contienen compuestos orgánicos. En ciertas circunstancias, de acuerdo con la presión del vapor y la temperatura, son más o menos volátiles. Estos compuestos orgánicos volátiles (COV) pueden ser potencialmente dañinos para el medio ambiente y para la salud de los trabajadores y pueden además causar mal olor. Éstas son las razones por las que las emisiones requieren una particular atención y seguimiento. El nivel de emisiones de COV depende de la naturaleza de los residuos, su punto de inflamación, la presión del vapor de los componentes y de su concentración. Las emisiones de COV también se ven influidas por el tipo de proceso aplicado y por las condiciones climáticas imperantes.

Ruido

Todas las líneas de proceso y equipamiento tienen que ser diseñadas y construidas de acuerdo con las normativas sobre ruido de la UE, para los trabajadores de la instalación y los vecinos. Los vehículos de transporte que entran y salen de la instalación son la principal fuente de ruido tanto alrededor como dentro de ella.

Entre otras fuentes de ruido podemos citar las máquinas de logística como las palas mecánicas, carretillas, palas hidráulicas, cribas, trituradoras, molinos, bombas, agitadores, motores utilizados para la red de ventilación y unidades de tratamiento de los COV.

Emisiones al agua

Las fuentes de aguas residuales son el agua de limpieza de los tambores, de los camiones, de las instalaciones, camiones cisterna y contenedores, y el agua de proceso (del acondicionado de los residuos durante el transporte, del secado, etc.). En ausencia de parámetros medidos de aguas residuales para estas instalaciones, en la tabla 3.134 se muestra una recopilación de gamas de algunos permisos aplicados a las instalaciones. Con la excepción de grandes accidentes, estas instalaciones no tienen impacto en las aguas del subsuelo. A modo de control, se suele utilizar una red piezométrica, con análisis una o dos veces al año.

Parámetros físico-químicos	Valores límite del permiso (mg/l)
pH	5,5 – 9,5
Temperatura máxima	30 – 45
TSS	30 – 60
COD	50 – 300
Hidrocarburos	2 – 10
BOD ₅	30 – 40
N-kjeldahl	n.p. – 40
N global	10 – 50
Total fosfatos	1 – 10
CN (libre)	0,1
Cd	0,05 – 0,2
Cr(VI)	0,01 – 0,1
Cr total	0,02 – 0,5
Cu	0,03 – 0,5
Fe	10 – 15
Hg	0,05 – 0,15
Ni	0,05 – 0,5
Pb	0,05 – 0,5
Sn	0,01 – 2
Zn	0,3 – 2
Total metales*	10 – 15
* Sb + Co + V + Tl + Pb + Cu + Cr + Ni + Zn + Mn + Sn + Cd + Hg + Se + Te	

Tabla 3.134: Gammas de valores que aparecen en permisos de algunas instalaciones [122, Eucopro, 2003]

Subproductos y residuos generados

Residuos del tratamiento de aguas residuales y otros residuos para su eliminación	Compuestos de	Cantidad (kg/tonelada de combustible de residuos producido)
Residuos provenientes del embalaje de residuos entregados		1,5 – 20
RIG, contenedores o tambores consignados		
Contenedores y tambores metálicos		
Contenedores y tambores de plástico		
Palés		
Bolsas grandes		
Hojas de plástico		
Extracción de desechos durante la etapa de producción	Estos residuos están compuestos de piezas metálicas, que pueden ser voluminosas	0 – 3
Desechos en la etapa de tamizado rotatorio, vibratorio y estático	Estos residuos están compuestos por bloques de diversos residuos sólidos (como resinas, pinturas, pegamentos, alquitrán, betún, suelos contaminados, etc.), trozos de madera, arena, plásticos contaminados, revestimientos, elementos textiles	
Residuos del tratamiento de aguas residuales	Por ejemplo, carbón activo del tratamiento de aguas residuales y gases	
Residuos de laboratorio y muestras desechadas		0,015
Nota: la cantidad de subproductos está estrechamente relacionada con el tipo de embalaje. Por ejemplo, en el caso de residuos con embalajes pequeños, la fracción de componentes de hierro puede alcanzar los 150 kg/tonelada de combustible residual.		

Tabla 3.135: Residuos generados en la preparación de residuos peligrosos que serán utilizados como combustible [122, Eucopro, 2003], [150, GTT, 2004]

El control de la calidad del suelo puede garantizarse a través del seguimiento y supervisión de las emisiones al aire, aguas residuales y calidad de las aguas subterráneas.

Preparación de combustible residual sólido por medio de la carbonización de madera contaminada

La madera contaminada puede contener COP, mercurio, arsénico y otros contaminantes habituales.

Emisiones por el tratamiento de aceite usado para ser utilizado como combustible

En la tabla 3.136 se muestran las emisiones por la preparación de aceites usados para ser utilizados como combustible líquido.

Origen de las emisiones	Medio	A través de
Almacenamiento de aceite usado	Aire	Desplazamiento de vapor durante la carga. «Respiración» a través de vías de ventilación
Caldera	Aire	Gases de combustión por las chimeneas. La mayoría de las instalaciones de reproceso de aceites generan vapor a causa de sus calderas.
Recipientes de calentamiento	Aire	Los recipientes de calentamiento son normalmente depósitos aislados de acero dulce. El calor llega al aceite a través de un sistema de intercambio de calor basado normalmente en serpentines de vapor internos o «ciegos». Este sistema puede ser difícil de limpiar y de mantener. Esto puede conducir a una utilización deficiente de la energía, en relación con el vapor ascendente. Se emiten COV durante el calentamiento del aceite para expulsar el vapor de agua. Las emisiones pueden consistir en el vapor desplazado, incluyendo vapor de agua y COV. Se puede usar la absorción de carbono pero se puede ver afectada por el vapor de agua. Se ha de considerar la condensación para recoger la fracción orgánica, que puede utilizarse para alimentar la caldera o incinerarse.
Depósito receptor de aceite templado	Aire	COV de la transferencia de aceite templado a los depósitos receptores
Filtrado de aceite templado	Aire	COV emitidos cuando el aceite templado pasa a través de filtros para retirar las partículas sólidas. El aceite templado de los recipientes de calentamiento pasa normalmente por filtros abiertos para retirar las partículas sólidas. Éstos están situados en lugares abiertos o edificios. Los filtros utilizados son normalmente una malla de metal que vibra, comúnmente utilizados en relación con agregados de metal. Es esencial para la venta del fuelóleo valorizado que los sólidos que contiene el aceite templado se retiren. La acción de retirar los sólidos es agresiva y los filtros tienen que ser robustos para trabajar con los sólidos y con el aceite templado. Esta etapa es una fuente de COV y de olor.
Separación del aceite de los desechos líquidos	Aire	El aceite se retira de los desechos líquidos antes de descargarlos por las alcantarillas o a otras aguas, normalmente a través de interceptores de agua/aceite, separadores de placas inclinadas o por técnicas de filtrado. Los COV son una emisión significativa cuando se extraen de un depósito de procesamiento a canales abiertos y también cuando en caliente se pasa por un separador de placas inclinadas.
Separación del aceite de los desechos líquidos	Agua	Aguas residuales a las alcantarillas. Los COV pasan del agua caliente a las alcantarillas
Agua de separación	Aire	COV liberados durante la descarga de agua
Almacenamiento del aceite valorizado	Aire	Desplazamiento de COV
	Tierra	Retirada de los lodos del almacenamiento, recipientes de calentamiento y unidades de filtrado

Tabla 3.136: Emisiones generadas por la preparación de aceites usados para ser utilizados como combustible
[55, UK EA, 2001]

Capítulo 3

En la tabla 3.137 se muestran algunos balances de masa de cuatro instalaciones de tratamiento diferentes (A - D).

Instalación	Residuos de entrada (exceptuando los elementos no disolventes/aceites como las pilas)	Productos	Descarga a las alcantarillas	Residuos para su proceso en otra instalación	Residuos para el vertedero
A	Aceite usado a granel: 14.340	Fuelóleo para la industria asfáltica: 12.800			
	Fluido hidráulico: 15				
	Residuos oleosos mezclados: 100				
	Filtros de aceite usados de lubricantes: 1355				
	Pinturas y disolventes 100				
B	Aceites usados mezclados: 15.000	Fuelóleo: 13.000	Aguas residuales: 700	Filtros de aceite compactados: 30	Lodos: 500
	Filtros de aceite usados de lubricantes: 90				
C	Agua contaminada de interceptores de fábrica: 14.000	Fuelóleo para su posterior tratamiento o mezclado: 2000	Aguas residuales con DQO alta: 13.600		Lodos bombeables: 300
	Aceites usados de talleres y fábricas: 2000				
	Fuelóleos excedentes: 100				
D	Aceites lubricantes usados en motores (en camiones cisterna): 80.000	Aceite lubricante usado para su utilización como combustible: 72.000	Aguas residuales con trazas de hidrocarburos: 2500		Lodos de los tamices: 6
	Aceites lubricantes usados en tambores: 100				Lodos del fondo del depósito: 6
	Fuelóleos excedentes: 300	Kerogás (fuelóleo y lubricante mezclados): 1000			Piezas cortadas de los tambores de aceite de 25 litros: 10
					Desechos, etc: 5

Nota: los valores de las celdas corresponden a la cantidad anual en toneladas del material mencionado

Tabla 3.137: Materiales de entrada y de salida en instalaciones de tratamiento de aceites usados que producen un material que se utilizará como combustible [56, Babbie Group Ltd, 2002]

Residuos de entrada			
Tipo de aceites usados	Cantidad anual (toneladas)	Contenido en aceite (% de aceite)	Contenido en agua (% de agua)
Aceite de motor usado	62.000	97	3
Residuos de interceptor	25.000	4	96
Aceites solubles	16.000	25	75
Fuelóleos	7000	98	2
Aceites de centrales de traslado o del proceso de filtros de aceite	4000	97	3
Otros flujos de residuos del aceite	200	99	1
Residuos de salida y desechos			
Producto			
Aceite residual limpiado para ser utilizado como combustible	75.150	99,5	0,5
Desechos a las alcantarillas		Aceite (mg/l)	DQO (mg/l)
Descarga a las alcantarillas	40.000	200	
Desechos a vertedero		% Aceite (sólidos)	Contenido en

Residuos de entrada			
Tipo de aceites usados	Cantidad anual (toneladas)	Contenido en aceite (% de aceite secos)	Contenido en agua (% de agua)
Vertedero: mallas	6000	11	25
Vertedero: lodos de proceso	12.000	5	50
Vertedero: otros residuos	4000	2	40
Otros desechos líquidos	4000	2	98
Otros desechos sólidos	3000	5	95

Tabla 3.138: Ejemplo de emisiones de una instalación de reciclaje de aceite que calienta el aceite durante el proceso [56, Babbie Group Ltd, 2002]

Productos de salida	Principalmente para producir fuelóleo ¹	Principalmente para producir gasóleo ²	Unidades (por tonelada de aceite usado de entrada)
Fuelóleo (32 de 700 MJ y < 0,5 %)	849		kg
Combustibles secundarios ³	63		kg
Gasóleo		706	kg
Nafta		51	kg
Betún		38	kg
Emisiones			
CO ₂	2845		eq. kg
SO ₂	9,8		eq. kg
COV	0,08		kg eq. C ₂ H ₄
Partículas	0,4		g
Fosfatos en agua	0,0012		kg eq.
Residuos a eliminar	18		kg
Residuos a recuperar	24		kg
Aguas residuales		50	kg
Disolventes		29	kg
Residuos pesados		61	kg
Nafta		36	kg
Efluentes gaseosos		29	kg
¹ Craqueo térmico: tratamiento térmico y químico (con H ₂ SO ₄) ² El craqueo térmico se utiliza para producir gasóleo de manera primaria. Se termina con las etapas de purificación y estabilización ³ Muchos son residuos generados durante el proceso			

Tabla 3.139: Emisiones generadas por el craqueo térmico de aceites usados [7, Monier y Labouze, 2001], [152, GTT, 2004]

Para la gasificación con carbón, los metales contenidos dentro del aceite usado de lubricante se pueden fijar en unas cenizas de fondo inertes y no peligrosas. Los compuestos de azufre se convierten en sulfuro de hidrógeno y se retiran a través de una depuración convencional, convirtiéndose en azufre elemental. No hay metales, fugitivos ni emisiones de dioxinas en el proceso de gasificación.

Productos de salida	Cantidad (por tonelada de aceite usado de entrada)	Unidades
Metanol	1080	kg
Ahorro de la entrada primaria de combustibles utilizados normalmente en la gasificación		
Emisiones		
CO ₂	1431	kg eq.
SO ₂	0,21	kg eq.
COV	0,05	kg eq. C ₂ H ₄
Fosfatos	0,0079	kg eq fosfatos en agua
Residuos a eliminar	1	kg
Residuos a recuperar	36	kg

Tabla 3.140: Elementos de salida generados por la gasificación de aceites usados [7, Monier y Labouze, 2001]

Emisiones al aire

En la siguiente tabla (tabla 3.141) se muestran algunas emisiones causadas normalmente por el proceso de aceites usados para producir un producto que pueda utilizarse como combustible.

Aspecto ambiental del proceso de aceite usado	Comentarios
Hidrocarburos clorados	Incrementan el nivel de cloro en el aceite usado
Dioxinas	Han sido mencionadas por agentes ambientales en un incendio reciente de regeneración de aceite usado de lubricante y aceite de base
Plomo	En la opción de reproceso, el plomo terminará en los residuos pesados, lo que tendrá como resultado que quede «bloqueado» en un producto bituminoso. Debido a las especificaciones cambiantes de la gasolina, la contaminación por plomo está disminuyendo de importancia.
Metales	En el proceso de craqueo térmico, se retiran al menos el 98 % de los metales como un polvo sólido no filtrable, recogido en contenedores sellados, y utilizado como un aditivo para el asfalto
Metales no volátiles	Los otros metales que pueden estar presentes se pueden retener en el residuo de betún, junto con el plomo
HAP	Los HAP solían ser un problema en el proceso de aceites de base, desde un punto de vista ambiental. Se forman durante una combustión incompleta de la materia orgánica. Los HAP son relativamente difíciles de descomponer. No obstante, pruebas recientes indican que es posible retirar los HAP en el proceso de regeneración de instalaciones modernas, y evitar así su acumulación.
Compuestos de azufre	Olor y emisiones de SO _x si se utiliza como combustible dentro de la instalación de procesamiento

Tabla 3.141: Aspectos ambientales relacionados con el proceso de aceites usados para ser utilizados como combustible [6, Silver Springs Oil Recovery Inc., 2000], [11, Jacobs y Dijkmans, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002]

Emisiones al agua

La preparación de aceite usado puede hacer que surjan sustancias orgánicas disueltas o miscibles, por ejemplo, demulsificantes y detergentes, dentro del efluente.

3.5.4 Combustibles a partir de residuos (residuo de salida)

El objetivo de este apartado es proporcionar una perspectiva general del tipo de especificaciones que el combustible residual posee habitualmente para utilizarse en diverso procesos de combustión. Combustible residual es uno de los términos utilizados en este documento para designar al combustible preparado a partir de residuos. Como se indica en el capítulo Ámbito, en este documento no se facilitan las descripciones de los procesos de combustión. La combustión está incluida en los BREF de los otros sectores industriales cubiertos por la IPCC

La coincineración de los materiales residuales tiene un impacto en la eficacia de la instalación, o en las emisiones al aire y al agua, y también influye en la calidad de los residuos de combustión y subproductos. El impacto de utilizar los residuos como combustible en lugar de usar combustibles convencionales está determinado por las diferentes propiedades de los residuos con respecto al combustible principal. Por ejemplo, las emisiones causadas por la combustión de aceites usados en una instalación eléctrica de carbón, en una instalación eléctrica de fuelóleo o en un horno de cemento son diferentes, ya que la naturaleza del proceso y de las técnicas de reducción de las emisiones aplicadas y el tipo de instalación de combustión (instalación eléctrica, calefacción de distrito o cogeneración de electricidad y calor) pueden ser muy diferentes en cada caso, por ejemplo, combustible sólido o líquido, tratamientos de final de línea, alcalinidad de los hornos de cemento, temperatura de la combustión (de 800 °C en el caso de hornos de lecho fluidizado hasta 2000 °C en el caso de hornos de cemento). Por consiguiente, estos aspectos están incluidos en el BREF de cada sector industrial, junto con el debate sobre el proceso de combustión aplicado; y por lo tanto estos aspectos no se pueden incluir aquí.

Parte del poder calorífico de los residuos que se han de usar como combustible y las otras propiedades importantes del combustible que determinan si un combustible específico puede aplicarse en una instalación de combustión provienen de su composición química y propiedades físicas. El ensuciamiento, formación de escoria y la corrosión de la caldera, cuando se utiliza en instalaciones eléctricas o de generación de calor, son posibles aspectos negativos que están también relacionados con su composición química, en particular con la presencia de ciertos componentes en la mezcla total de combustible, como metales alcalinos, cloro y azufre. Estos componentes pueden, por lo tanto, tener una gran influencia en la disponibilidad de la instalación eléctrica o de generación de calor, ya que pueden llevar a un tiempo de inactividad de la instalación; además pueden afectar a las características de las cenizas (por ejemplo, comportamientos de sinterización y fundición). La composición de las cenizas puede ser un factor importante en la economía de la instalación de combustión. Los elementos contaminantes, como los metales pesados, pueden influir negativamente en las opciones de uso de las cenizas, teniendo como resultado altos costes de eliminación de las cenizas. La forma física en que se presenta el combustible es también de importancia, ya que los sistemas de alimentación deben ser capaces de manipular el combustible sin problemas y las partículas deben ser lo suficientemente pequeñas como para completar la combustión en su tecnología de combustión correspondiente. Los pellets, pelusas, briquetas y pacas son las formas físicas de aplicación más común en el caso del combustible residual sólido.

Además, en los procesos de combustión, los elementos volátiles son un parámetro importante del combustible, en relación con la estabilidad de la llama y la combustión total del combustible. Generalmente, los combustibles residuales sólidos consisten en madera, papel y plásticos, con un contenido alto en elementos volátiles en comparación con el carbón, por ejemplo.

3.5.4.1 Combustible preparado a partir de residuos sólidos municipales

La gama de composiciones del combustible de residuos sólidos municipales en Europa se muestra en la tabla 3.142.

Propiedad	Abanico	Unidades
Materia seca	75,3 – 78,0	%
Humedad	1,6 – 50	%
Poder calorífico	10 – 40	MJ/kg
Cenizas	0,7 – 20	%-peso
Composición de las cenizas		%-peso
aluminio	6,9 – 9,2	
calcio	17,6 – 21,8	
hierro	1,6 – 2,2	
potasio	1,9 – 2,2	
magnesio	1,4 – 1,7	
sodio	1,9 – 2,7	
sílice	17,9 – 20,8	
titanio	1,0 – 1,6	
Cloro	<0,01 – 1,77	%-peso
Flúor	0,001 – 0,02	%-peso
Azufre	0,02 – 0,6	%-peso
Carbono	47,1 – 50,7	%-peso
Hidrógeno	6,6 – 7,0	%-peso
Nitrógeno	0,5 – 0,8	%-peso
Oxígeno	30,4 – 34,4	%-peso
As	<0,4 – 160	ppm
Be	0,2 – 0,3	ppm
Cd*	0,16 – 6	ppm
Cd + Hg	7	ppm
Co	0,4 – 7,4	ppm
Cr	2,5 – 226	ppm
Cu	6,8 – 1340	ppm
Hg	<0,02 – 1	ppm
Mn	22 – 590	ppm
Ni	<2,5 – 40	ppm
Pb	2,4 – 300	ppm
Sb	1 – 39	ppm
Se	0,8 – 1,7	ppm
Sn	2 – 27,6	ppm
Te	0,6 – 1,58	ppm
Tl	<0,1 – 0,8	ppm
V	2,3 – 10,2	ppm
Zn	225 – 500	ppm
EOX	31 – 42	ppm
* En torno al 70 % del cadmio que puede estar presente en los RSM se transfiere a los productos combustibles.		

Tabla 3.142: Gama de composiciones de análisis de combustible residual sólido preparado a partir de RSM en Europa [4, Langenkamp, 1997], [8, Krajenbrink, et al., 1999], [21, Langenkamp y Nieman, 2001], [81, VDI y Dechema, 2002]

Parámetro	Unidades	Media	Percentil 80.º	N.º de muestras
Poder calorífico neto	MJ/kg	20,6	25,1	179
Contenido en humedad	%	13,4	18,8	346
Contenido en ceniza	% MS	13,8	20,6	151
Cloro total	%	0,7	1,1	171
Flúor total	mg/kg MS	100,0	400,0	55
Azufre total	%	0,1	0,4	110
Antimonio	mg/kg MS	10,8	42,4	284
Arsénico	mg/kg MS	1,0	2,0	257
Berilio	mg/kg MS	0,2	0,3	230
Cadmio	mg/kg MS	2,2	4,9	266
Cromo	mg/kg MS	48,0	82,9	259
Cobalto	mg/kg MS	2,9	4,7	245
Cobre	mg/kg MS	97,5	560,0	286
Plomo	mg/kg MS	89,0	160,0	265
Manganeso	mg/kg MS	61,0	94,0	229
Mercurio	mg/kg MS	0,2	0,3	249
Níquel	mg/kg MS	13,1	26,3	243
Selenio	mg/kg MS	0,4	1,7	235
Telurio	mg/kg MS	0,4	1,0	222
Talio	mg/kg MS	0,4	0,5	241
Estaño	mg/kg MS	4,0	12,2	192
Vanadio	mg/kg MS	3,6	5,3	241
PCB	Sum DIN 51527	0,2	0,5	21

Notas: MS = materia seca
 Todos los porcentajes son por masa.
 Los RSM utilizados en esta ocasión no incluían la fracción altamente calorífica de los residuos domésticos. Contenían la fracción altamente calorífica de los residuos de construcción y demolición y de los residuos comerciales, lo que explica el valor indicado en el poder calorífico neto.

Tabla 3.143: Combustible residual sólido producido a partir de la fracción altamente calorífica de los residuos de demolición [21, Langenkamp y Nieman, 2001]

Parámetro	Unidades	Materias primas separadas en origen de apartamentos, oficinas, etc. ¹	Materias primas separadas en origen de industrias y empresas ²
Humedad	%	33,6	16,6
Poder calorífico bruto	MJ/kg MS	23,1	21,2
Poder calorífico neto	MJ/kg MS	22,3	20,1
Poder calorífico neto	MJ/kg	14,0	16,8
Contenido energético	MWh/tonelada	3,9	4,7
Contenido en ceniza	%	10,2	6,7
Materia volátil	%	74,8	78,3
Cloro	%	0,4	0,3
Aluminio	%	0,6	0,2
Aluminio metálico	%		0,03
Azufre	%	0,2	0,1
Nitrógeno	%	1,5	1,4
Sodio	%	0,4	0,1
Sodio soluble	%	0,3	0,1
Potasio	%	0,3	0,1
Potasio soluble	%	0,2	0,1
Mercurio	mg/kg MS	0,3	0,1
Cadmio	mg/kg MS	1,2	
Cromo	mg/kg MS	140	
Cobre	mg/kg MS	80	
Níquel	mg/kg MS	20	
Cinc	mg/kg MS	340	
Manganeso	mg/kg MS	210	
Arsénico	mg/kg MS	8,8	
Plomo	mg/kg MS	52,4	
Notas: MS = materia seca Todos los porcentajes son por masa ¹ Media obtenida de 742 muestras ² Media obtenida de 490 muestras			

Tabla 3.144: Combustible recuperado producido a partir de fracciones separadas en origen de RSM y otros residuos combustibles (Finlandia)
 [21, Langenkamp y Nieman, 2001]

Parámetro	Unidades	Media	Percentil 80.º	N.º de muestras
Poder calorífico neto	MJ/kg	22,9	25,3	1402
Contenido en humedad	%	11,5	17,2	1849
Contenido en ceniza	% MS	9,6	11,6	1308
Cloro total	%	0,4	0,7	1475
Flúor total	mg/kg MS	100	400	200
Azufre total	%	0,1	0,1	307
Cadmio	mg/kg MS	0,8	3,2	443
Mercurio	mg/kg MS	0,2	0,4	402
Talio	mg/kg MS	0,5	1,5	410
Arsénico	mg/kg MS	1,5	1,7	394
Cobalto	mg/kg MS	2,0	3,8	383
Níquel	mg/kg MS	6,2	16,0	384
Selenio	mg/kg MS	1,0	2,5	318
Telurio	mg/kg MS	1,0	5,0	322
Antimonio	mg/kg MS	9,4	33,9	547
Berilio	mg/kg MS	0,2	0,3	343
Plomo	mg/kg MS	25,0	64,4	406
Cromo	mg/kg MS	20,0	43,9	417
Cobre	mg/kg MS	48,0	118	504
Manganeso	mg/kg MS	28,0	47,0	369
Vanadio	mg/kg MS	3,3	10,0	347
Estaño	mg/kg MS	7,0	12,4	114
PCB	Sum DIN 51527	0,2	0,5	134

Notas: MS = materia seca
 Todos los porcentajes son por masa

Tabla 3.145: Combustible recuperado producido de monoflujos de residuos comerciales e industriales (datos de una compañía alemana) [21, Langenkamp y Nieman, 2001]

Combustible residual sólido para sustituir al carbón

La principal diferencia entre el carbón y los combustibles sólidos a partir de residuos es el contenido en azufre, cloro y metales pesados. En muchos casos, por ejemplo, si se consideran y comparan los combustibles residuales sólidos con el carbón, el cloro de los combustibles valorizados es mayor (normalmente 0,5 - 1,0 %) y el azufre, menor. También de manera general, el contenido en metales pesados estará en un valor similar (en ppm) o incluso podría incrementarse. El combustible residual sólido se vende bajo formas físicas distintas. En la tabla 3.146 se proporciona una perspectiva general sobre las diferentes formas físicas del combustible residual.

Combustibles residuales	Características físicas y químicas determinantes
Pelusas	Tamaño de las partículas, densidad de la masa, contenido en humedad, poder calorífico neto, contenido en cenizas, composición química
Pellets blandos	
Pellets duros	
Virutas	
Polvo	

Tabla 3.146: Perspectiva general de las diferentes formas físicas del combustible residual (residuos de salida) [126, Pretz, et al., 2003], [152, GTT, 2004]

Los requisitos del usuario definen a menudo la calidad del producto y las características del combustible residual. Las centrales eléctricas, las instalaciones de cal y cemento, las instalaciones de gasificación, las calderas multcombustible, etc. tienen estándares diferentes

respecto de la utilización de combustible residual sólido, según su tecnología, tratamiento de los gases residuales y especificaciones de producto.

Lodos de aguas residuales desecadas

En las centrales eléctricas se utilizan grandes cantidades de lodos de aguas residuales desecadas, con poderes caloríficos que van de los 3 hasta < 10 MJ/kg.

3.5.4.2 Especificaciones del combustible residual que se utiliza en los hornos de cemento

Las dos tablas que aparecen a continuación (tabla 3.147 y 3.148) contienen ejemplos de especificaciones utilizadas por hornos de cemento en algunos países. En estas tablas no se muestra la imagen perfecta de lo que está pasando actualmente en Europa, así que la información indicada no se deberá considerar como exhaustiva.

En la tabla 3.147 se indican las muestras y valores requeridos para aceptar combustibles sustitutivos en hornos de cemento en algunos países.

Sustancias o criterios que se han de evaluar	Unidades	Reino Unido	Flandes ¹ (región belga)	Italia ²	Nueva Zelanda ³
Poder calorífico	MJ/kg	23 – 29	>15	>15	
Separación agua/disolvente		no detectable			
Contenido en agua	%			<25	
Total S	%	<0,3	<0,4	<0,6	0,1 – 2,8
Total Cl	%	<2	<0,5	<0,9	0,03 – 0,76
Total F, Br, I	%	<0,5			
F	%		<0,1		
Total Br, I	%		<0,01		
Total N	%		<1,0		
Al	ppm				10 – 1000
As	ppm	<50	<10	<9	<50 – 60
Be	ppm		<1		
Cd	ppm		<10		<10 – 20
Cd + Tl	ppm	<40			
Cd + Hg				<7	
Co	ppm	<100			
Cr	ppm	<200		<100	<10 – 80
Cu	ppm	<600		<300 ⁶	<10 – 165
Hg ⁴	ppm	<20			<10
Hg, Tl	ppm		<2		
Mn	ppm	<250		<400	
Mo	ppm		<20		
Ni	ppm	<50		<40	
Pb	ppm	<500	<200	<200 ⁵	10 – 1080
Sb	ppm	<50			
Sn	ppm	<100			
V	ppm	<50	<200		
Zn	ppm		<500		108 – 3670
Sb, As, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, V	ppm	<1800			
Contenido sólido y cenizas	%	Depende del tipo de combustible residual		<20	
Contenido en PCB					<10
Otras especies		Depende el tipo de combustible residual			

¹ Se informó de que actualmente no hay ningún horno de cemento operativo en Flandes

² Un productor informó de la producción de combustible a partir de residuos con las características siguientes: poder calorífico superior a 18,8 MJ/kg, contenido en agua menor al 20 %, contenido total en cloro menor al 1 % y contenido en cenizas menor al 6 %.

³ Para aceite usado utilizado en un horno de cemento

⁴ Se informó de valores más bajos (2 – 5 ppm si las instalaciones estaban equipadas con un filtro de mangas con carbón activo y menor a 1 ppm si ese equipamiento no estaba presente) pero no se facilitó ninguna referencia a países o instalaciones

⁵ se refiere sólo al plomo volátil

⁶ se refiere sólo a los compuestos de cobre

Se pueden hallar más datos en la legislación alemana (tabla 1 de Stellungnahme der LAGA zu RAL GZ 724) y en el trabajo llevado a cabo por CEN/TC 343 WG 2

Tabla 3.147: Ejemplos de especificaciones de residuos para que sean aceptados como combustible en hornos de cemento de algunos países

[4, Langenkamp, 1997], [37, Woodward-Clyde, 2000], [52, Ecodeco, 2002], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

En la tabla 3.148 se muestran algunos ejemplos de especificaciones aplicadas a diferentes tipos de residuos para que sean aceptados en hornos de cemento franceses.

Sustancias o criterios que se han de evaluar	Unidades	Catalizadores	Lodos industriales	Agua contaminada con contenido DQO alto (>10.000 ppm)	Subproductos animales	Grasa animal	Aceite usado
PCB/PCT	ppm	<50	<50	<50			<50
Pentaclorofenol		ausente	ausente	ausente			ausente
Hg	ppm	<10	<10	<10			
Hg + Cd + Tl	ppm	<100	<100	<100			
Sb + As + Pb + Cr + Co + Ni + V + Sn + Te + Se	ppm	<10.000	<2500	<2500			
Metales pesados	%						<1
pH			3 – 12	3 – 12			3 – 12
Poder calorífico	kJ/kg		8400	8400	18.800	38.500	38.500
Total hidrocarburos	%	<0,5					
CaO + SiO ₂ + Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	%	>80 *					
Agua	%	<10	40 – 70				<15
Alcalis (Na ₂ O + K ₂ O)	%	<5	<1,5	<5			<5
Total Cl	%	<0,6	<0,3	<0,6	<0,6	<0,1	<0,6
Total S	%	<5	<2	<2	<0,4	<0,1	<2
Total P (como P ₂ O ₅)	%	<2	<5				
F	%	<2					
Br	%	<0,5					
I	%	<0,5					
F + Br + I	%		<1	<1			<1
Residuo sólido a 900 °C	%		<30	<5			<5
Viscosidad a 20 °C	cp			250			250

Notas:
 * en seco
 Los tipos de residuos no aceptados para su proceso en hornos de cemento de Francia son los productos radiactivos, explosivos, peróxidos, perclorados y oxidantes fuertes, irritantes oculares, cianuros minerales, residuos médicos, residuos contaminados de microbios patógenos y líquidos altamente inflamables.
 Algunos de los residuos enumerados aquí se corresponden con residuos que se envían directamente del productor de residuos al horno de cemento, sin un tratamiento previo a la utilización en los hornos de cemento. Algunos de los residuos enumerados aquí no se utilizan estrictamente como combustible.

Tabla 3.148: Ejemplos de especificaciones de diferentes tipos de residuos para que sean aceptados como combustible en hornos de cemento franceses [46, Szabo, 2002], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

Sustancia	A		B	C
	mg/MJ	mg/kg (a 25 MJ/kg)	mg/kg	mg/kg
Ag	0,2	5	-	-
As	0,6	15	20	30
Ba	8	200	600	1000
Be	0,2	5	3	3
Cd	0,08	2	0,8	1
Co	0,8	20	30	100
Cr	4	100	100	200
Cu	4	100	100	200
Hg	0,02	0,5	0,5	0,5
Ni	4	100	100	200
Pb	8	200	50	75
Sb	0,2	5	1	5
Se	0,2	5	1	5
Sn	0,4	10	50	30
Tl	0,12	3	1	2
V	4	100	200	300
Zn	16	400	400	400
Compuestos orgánicos tóxicos	No hay valores estándar. No obstante, se mencionan algunas restricciones si hay presentes compuestos orgánicos o si se sospecha que hay PCB, dioxinas o compuestos tóxicos similares.			
<p>La columna A se refiere a residuos utilizados como combustible, introducidos en el quemador principal ya sea por la salida del clinker del horno rotatorio o por la entrada del horno rotario. Los valores estándar de la columna A (mg/MJ) se basan en el poder calorífico más bajo de los residuos. Con el objetivo de dejarlo todo más claro, los valores estándar en (mg/kg de residuos) se basan en un poder calorífico más bajo, de 25 MJ/kg. El valor de 25 MJ/kg se corresponde con el poder calorífico de la hulla. Si el poder calorífico de los residuos es menor o mayor a 25 MJ/kg, el contenido permisible en metales pesados variará proporcionalmente.</p> <p>La columna B se refiere a residuos utilizados como materias primas alternativas para la producción de clinker. Estos residuos sustituyen en parte a las materias primas utilizadas normalmente o sirven para corregir la composición de la harina de crudo, es decir, el contenido en calcio, hierro, sílice o aluminio.</p> <p>La columna C se refiere a los residuos utilizados en la fase de molido de la producción del cemento Portland. El cemento Portland se compone de un 90 - 95 % de clinker de cemento de base y un 5 - 10 % de yeso, así como de otros materiales añadidos en la fase de molido.</p>				

Tabla 3.149: Valores estándar para el contenido contaminante de los residuos utilizados en los hornos de cemento de Suiza.

[150, GTT, 2004]

3.5.4.3 Aceite usado utilizado como combustible

Los aceites usados tienen propiedades valiosas para su utilización como componente de mezcla para fuelóleo; por ejemplo, tienen un contenido en azufre y una viscosidad más bajas si se comparan con otros combustibles pesados. El mezclado con fuelóleo en la refinería puede ser una opción viable para los aceites siempre que se demuestre que los niveles contaminantes están dentro de los límites aceptables para las especificaciones del fuelóleo.

El aceite usado se utiliza como combustible en una serie de centrales eléctricas del Reino Unido. En la tabla 3.150 de más abajo se muestra una especificación típica. Se informa de que los proveedores de aceite usado tienen dificultades para el cumplimiento de la especificación de cloro, a causa de la contaminación de los aceites usados de lubricantes en el Reino Unido. Esto viene de otros residuos como los aceites transformados y las grasas cloradas.

PROPIEDADES	Unidades	Mín.	Máx.
Físicas			
Densidad a 15 °C	g/cm ³	0,88	0,95
Punto de inflamación	°C PMCC	65	
Poder calorífico neto	GJ/tonelada	40	
Viscosidad a 40 °C	Centistokes	30	55
Químicas			
Contenido en agua	%-peso	0	3
Azufre	%-peso	0	1
Cloro	ppm	0	1100
PCB	ppm	0	10
Plomo	ppm	0	200
Vanadio	ppm	0	50
Cobre	ppm	0	50
Cadmio	ppm	0	10
Cromo	ppm	0	30
Níquel	ppm	0	50

Tabla 3.150: Especificación típica para el fuelóleo recuperado suministrado a centrales eléctricas del Reino Unido
[56, Babbie Group Ltd, 2002], [67, DETR, 2001]

Residuos de salida provenientes del reproceso suave de aceites usados

Los aceites usados limpiados procedentes de esos procesos se mezclan normalmente con otros fuelóleos. El aceite usado procesado contendrá todavía metales pesados, halógenos y azufre.

Residuos de salida provenientes del craqueo térmico de aceites usados

En la tabla 3.151 se proporciona un resumen de los componentes presentes en los productos procedentes del craqueo térmico de aceites usados.

Aspecto ambiental	Comentarios
Hydrocarburos clorados	Si el combustible craqueado es hidrotratado, los compuestos clorados se eliminan. Los PCB pesados (punto de ebullición más alto que el aceite usado) se destruyen durante este proceso. Los PCB ligeros sólo son destruidos parcialmente durante este proceso. Los compuestos de cloruros orgánicos pueden permanecer aún en el destilado
Cloro	El gobierno neerlandés estableció una especificación máxima de cloro de 50 ppm
Metales	La eficacia de la columna de vacío permite la producción de destilados con contenidos en metal menores a 1 ppm. Todos los metales presentes en el aceite usado de lubricante terminan en el fondo de la sección de craqueo.
HAP	Los HAP pesados se craquean y se queman con nafta ligera. Los HAP más ligeros se añaden al estanque de combustibles ligeros.
Azufre	La gasolina tendrá un contenido en azufre que depende del nivel de azufre utilizado en el aceite usado de entrada y del método de estabilización utilizado.

Tabla 3.151: Componentes de residuos de salida procedentes del craqueo térmico de aceites usados
[6, Silver Springs Oil Recovery Inc., 2000], [150, GTT, 2004]

Es probable que para satisfacer los requisitos comunitarios en cuanto a contenido en azufre de combustibles líquidos (automoción o combustible para calefacción) los productos craqueados resultantes requieran un tratamiento posterior de reducción de azufre o tengan que mezclarse con otros productos más pobres en azufre (haciendo uso indirecto, por lo tanto, de las instalaciones de desulfuradoras de un tercero).

Productos de salida	Unidades (por tonelada de aceite usado de entrada)	Principalmente para producir fuelóleo ¹	Principalmente para producir gasóleo ²
Fuelóleo (32 de 700 MJ y <0.5 % S)	kg	849	
Combustibles secundarios ³	kg	63	
Gasóleo	kg		706
Nafta	kg		51
Betún	kg		38
¹ Craqueo térmico: tratamiento térmico y químico (con H ₂ SO ₄) ² Craqueo térmico ajustado para producir gasóleo de manera primaria. Se termina con una fase de purificación y estabilización. ³ Muchos son combustible residual generado durante el proceso			

Tabla 3.152: Productos de salida generados por el craqueo térmico de aceites usados [7, Monier y Labouze, 2001], [152, GTT, 2004]

Residuos de salida procedentes de la gasificación del aceite usado

Para la cogasificación con carbón, los metales contenidos dentro del aceite usado de lubricante se pueden fijar en unas cenizas de fondo inertes y no peligrosas. Los compuestos de azufre se convierten en sulfuro de hidrógeno y se retiran a través de una depuración convencional, convirtiéndose en azufre elemental. No hay metales, fugitivos ni emisiones de dioxinas en el proceso de gasificación.

Productos de salida	Cantidad (por tonelada de aceite usado de entrada)	Unidades
Metanol	1080	kg
Ahorro de la entrada primaria de combustibles utilizados normalmente en la gasificación		

Tabla 3.153: Productos de salida generados por la gasificación de aceites usados [7, Monier y Labouze, 2001]

3.5.4.4 Sistemas de garantía de la calidad

La información proporcionada en este apartado presenta un estudio sobre los sistemas de garantía de la calidad existentes y sobre desarrollos recientes.

CEN/BT/TF 118 Europeo

El grupo de trabajo 118 del CEN «combustibles sólidos recuperados» se instituyó en abril de 2000. La tarea que se había de realizar era preparar un informe técnico sobre la producción y la aplicación del combustible sólido procedente de residuos dentro de la UE, así como el desarrollo de un programa de trabajo como base para una norma europea en el futuro. El modelo de clasificación Europeo se basa en las características del combustible residual sólido, el material de entrada y su origen. En el informe se concluyó que es necesario desarrollar una norma europea. Se encomendó al CEN la tarea de desarrollar, como primer paso, un conjunto de especificaciones técnicas relativas al combustible residual sólido, y producido exclusivamente a partir de residuos no peligrosos, para la recuperación de energía en instalaciones de incineración de residuos o en instalaciones de co-incineración. Como segundo paso, el CEN debía transformar este conjunto de especificaciones técnicas en normas europeas.

RAL alemán

A principios de 1999, una asociación alemana comenzó a esforzarse para instalar la etiqueta de calidad para combustible residual procedente sólido de residuos no peligrosos. Esta etiqueta se concede a los productores de combustible residual sólido que cumplen con los requisitos

garantizando calidades constantes. Los estándares se relacionan primeramente con la industria cementera y con las centrales eléctricas. Conformemente, el combustible residual sólido tiene que satisfacer los criterios proporcionados en los anexos 1 y 2 para el sistema de garantía de la calidad. En el anexo 1 se incluye una lista con todos los residuos permitidos que son aplicables como principio básico. En el anexo 2, se facilitan los valores que hay que cumplir. En la tabla 3.154 se muestran esos valores. Las inspecciones en los procedimientos de reconocimiento y supervisión se dan en dos fases. Estos sistemas incluyen aspectos de muestreo, cómo calcular valores medios, procedimiento de reconocimiento (primera inspección), autosupervisión, supervisión independiente y reinspección.

Parámetro	Contenido de metales pesados ⁴⁾	
	Media (mg/kg MS)	Percentil 80.º (mg/kg MS)
Poder calorífico		
Humedad		
Contenido en ceniza		
Contenido en cloro		
Cadmio	4	9
Mercurio	0,6	1,2
Talio	1	2
Arsénico	5	13
Cobalto	6	12
Níquel	25 ¹⁾ 80 ²⁾	50 ¹⁾ 160 ²⁾
Selenio	3	5
Telurio	3	5
Antimonio ⁵⁾	50	120
Plomo	70 ¹⁾ 190 ²⁾	200 ¹⁾ - ³⁾
Cromo	40 ¹⁾ 125 ²⁾	120 ¹⁾ 250 ²⁾
Cobre	120 ¹⁾ 350 ²⁾	- ³⁾ - ³⁾
Manganeso	50 ¹⁾ 250 ²⁾	100 ¹⁾ 500 ²⁾
Vanadio	10	25
Estaño	30	70
Berilio	0,5	2

¹⁾ Para combustible residual sólido a partir de residuos específicos de producción
²⁾ Para combustible residual sólido a partir de fracciones altamente caloríficas de residuos urbanos
³⁾ No está restringido hasta que el proceso de combustible da una base de datos segura
⁴⁾ Los contenidos en metales pesados son válidos hasta un poder calorífico de PCN_{MS} de ≥ 16 MJ/kg para las fracciones altamente caloríficas de los residuos urbanos y hasta un poder calorífico de PCN_{MS} de ≥ 20 MJ/kg para residuos específicos de producción. En el caso de poderes caloríficos que sean menores, los valores se tienen que disminuir en consecuencia, no se permite un aumento.
⁵⁾ Valores adaptados en caso de digestión con agua regia en un sistema de microondas cerrado

Tabla 3.154: Contenidos en metales pesados con los que se tiene que cumplir según la BGS/12/ [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

SFS 5875 finlandesa

El sistema de eliminación de residuos finlandés está basado en una recolección separada de los residuos para su reciclaje y la producción de combustible residual sólido. Se utilizan diferentes residuos sólidos y calderas finlandesas con un alto estándar técnico para una producción altamente eficiente de energía, seguida de niveles de emisión bajos. La aplicación del combustible residual sólido en la caldera multicomcombustible finlandesa se considera como «bien adaptada». Las normativas conciernen a fracciones recogidas por separado, sólidas, secas y altamente caloríficas, o fracciones secas y altamente caloríficas derivadas de los residuos domésticos. La normativa define las operaciones y exige el control de la producción de combustible a partir de residuos sólidos, se refiere también a la cadena de gestión de residuos completa, desde el origen de los residuos hasta su eliminación. Para cada parte de la cadena de eliminación, el estándar requiere una persona encargada de controlar los requisitos técnicos y de calidad.

Análoga al estándar alemán, los anexos del estándar finlandés definen requisitos concretos relativos a umbrales para los metales pesados, así como un marco de análisis, muestreo, etc. Los umbrales predefinidos, así como la normativa con la que se tiene que cumplir son un aspecto contractual. Comprende la operación de supervisión, requisitos de calidad y tipos de calidad.

En comparación con el estándar alemán, el estándar finlandés divide los residuos en tres tipos de calidad. Para la categorización del combustible de residuos sólidos en Finlandia se analizan siete elementos. En la tabla 3.155 se presentan los criterios para la clasificación en tipos de calidad.

Parámetro	Unidad	Tipos de calidad		
		I	II	III
Cloro	%-peso	<0,15	<0,5	<1,5
Azufre	%-peso	<0,2	<0,3	<0,5
Nitrógeno	%-peso	<1,0	<1,5	<2,5
Potasio y sodio	%-peso	<0,2	<0,4	<0,5
Aluminio (metálico)	%-peso	- ¹⁾	- ²⁾	- ³⁾
Mercurio	mg/kg	<0,1	<0,2	<0,5
Cadmio	mg/kg	<1,0	<4,0	<5,0

¹⁾ El aluminio metálico no se permite, pero se acepta dentro de los límites de la precisión de informe.
²⁾ El aluminio metálico se minimiza por la separación en origen y por el proceso de producción de combustible
³⁾ El contenido en aluminio metálico se acuerda de forma separada.

Tabla 3.155: Tipos de calidad según la SFS 5875/13/ [126, Pretz, et al., 2003]

ÖG SET austríaca

Dentro de un proyecto conjunto de la asociación austríaca (Österreichische Gütegemeinschaft für Sekundärenergieträger), se ha realizado un concepto de garantía de calidad para los combustibles sólidos recuperados (CSR).

Objetivo

Para cumplir con los requisitos para la utilización térmica de residuos en la coincineración industrial, la calidad de dichos residuos se ha de definir con precisión. Durante la producción de combustibles a partir de residuos, se ha de dedicar especial atención a la garantía de calidad de las fracciones predefinidas. Para la viabilidad técnica a escala industrial, la experiencia práctica demuestra que son decisivos tanto los contenidos químicos y la composición, definidos por el origen de los residuos, como los parámetros físicos como el tamaño de las partículas y la aglomeración, definidos por el pretratamiento mecánico, si se quiere cumplir con los requisitos de la ÖG-SET.

Con el fin de alcanzar esos requisitos, la ÖG-SET aspira, con lo siguiente como base, a una marca de calidad:

- preparación de normativas para el muestreo y la preparación de muestras
- evaluación de las implicaciones de las normativas preparadas en la aplicación de los combustibles sólidos recuperados en la coincineración industrial, producción de electricidad y calor
- preparación de un concepto de garantía de la calidad

Organización

El prerrequisito principal para poner en práctica las normativas resultantes es un apoyo amplio de las compañías afectadas, que son las que tratan con la producción y la utilización térmica de los combustibles sólidos recuperados.

Actividades

Se llevan a cabo las actividades siguientes:

- elaboración de una relación de los criterios para la utilización de CSR en diversas instalaciones industriales de incineración/eléctricas o de producción de calor,
- preparación de normativas para el muestreo de CSR,
- realización de un test entre varios laboratorios para la determinación de desviaciones del estándar en contenidos de media obtenidos por muestreo, preparación de muestras y análisis,
- preparación de un concepto de garantía de la calidad,
- definición de los requisitos básicos para una marca de calidad.

Teniendo en cuenta cinco ramas industriales y las tecnologías aplicadas para la utilización térmica (por ejemplo, quemadores de polvo de carbón, hornos rotatorios, lechos fluidizados), se crearon cinco grupos de trabajo (industria cementera, industria del papel y cartón, centrales eléctricas, industria del acero e industria de la madera). En cada grupo, los productores y usuarios de RSR tomaron parte para garantizar un enfoque integral. Para las tecnologías de diferente utilización, se recopilaron los criterios esenciales y se definieron para la utilización térmica de residuos y desechos. Se distinguieron principalmente tres tipos de atributos de calidad:

- criterios de exclusión,
- atributos de calidad físico-química,
- otros atributos de calidad.

Estos atributos de calidad contienen un compendio de los criterios y atributos de calidad definidos por los grupos de trabajo. Cada director de instalación tomó en consideración los requisitos de su instalación, pudiendo elegir de las listas los atributos para su calidad de RSR requerida. Para la optimización, los criterios se pueden incluir en la especificación del RSR.

Preparación de la base para la especificación

La preparación de una hoja de especificación facilita la comunicación entre el productor de los RSR y el usuario. Para la optimización de los RSR, se pueden aplicar criterios adicionales como los siguientes:

- criterios de transporte y almacenamiento (por ejemplo, densidad de la masa)
- tipo de transporte (por ejemplo, por carretera, por ferrocarril).

La información adicional puede facilitar la manipulación de los RSR considerablemente.

Test entre laboratorios

Se realizaron dos esquemas de test (uno más heterogéneo y otro menos) para los RSR. Uno de los tests se llevó a cabo para parámetros de guía definidos con la evaluación estadística de datos existentes. Los parámetros químicos de la lista de criterios se investigaron también. El primer paso fue el cálculo de la masa de muestra y del número de muestra, basados en el marco proporcionado por el grupo de trabajo 1 CEN TC 292 «Caracterización de los residuos – Técnicas de muestreo para los residuos» (borrador del 02/2001). El volumen de las muestras y su número se calcularon utilizando una desviación total dirigida, el tamaño de las partículas, la densidad de la masa y la heterogeneidad de los residuos expresados por la desviación estándar alcanzada en exámenes previos. Basándose en los resultados del test entre laboratorios, se definieron las directrices para el muestreo y la preparación de muestras.

Preparación de un concepto de garantía de la calidad

Para garantizar los criterios de calidad requeridos, actualmente se está elaborando un concepto de calidad, que tiene en cuenta los requisitos especiales de la aplicación y utilización del RSR.

Garantía de calidad de la compañía

Hay sistemas de garantía de la calidad existentes. En la tabla 3.156 se proporciona una perspectiva general del sistema.

Paso del proceso	Medidas	Medidas suplementarias
Origen (productor de residuos, instalación de separado, proceso mecánico-biológico)	Recolección de residuos, eliminación de las impurezas, acuerdos contractuales sobre calidades permitidas de los residuos, análisis de declaración, documentación de las cantidades eliminadas	Cursos de instrucción para productores de residuos, controles periódicos de la compañía productora de residuos por parte del encargado de la eliminación
Instalación de proceso (entrega)	Muestreo y análisis regular, muestras de reserva, documentación de la entrada de las cantidades procesadas	Muestreo y análisis regular de los materiales salientes por parte de un experto oficial externo
Instalación de proceso (salida)	Muestreo y análisis regular, muestras de reserva, documentación de la entrada de las cantidades procesadas	
Hornos de cemento y de cal, centrales eléctricas	Muestreo y análisis regular, muestras de reserva, documentación de la entrada de las cantidades procesadas	

Tabla 3.156: Sistema de garantía de la calidad de RWE Umwelt AG (Alemania)
[126, Pretz, et al., 2003]

3.6 Emisiones y consumos de tratamientos de final de línea (reducción de la contaminación)

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [116, Irish EPA, 2003]

En este apartado se abarcan las emisiones que surgen de los procesos o actividades, comúnmente llamados técnicas de final de línea o de reducción de la contaminación, utilizadas en el sector de los residuos para el tratamiento del gas residual, las aguas residuales y residuos sólidos producidos en el proceso antes de deshacerse de esos flujos. El objetivo principal de esos procesos es reducir la concentración de contaminantes en los flujos de salida. Las cargas y las concentraciones de contaminantes en esos flujos se reducirán gracias a procesos de reducción de la contaminación y de final de línea, pero algunos contaminantes permanecerán en los flujos y además otros se crearán. Las técnicas actuales no se describen en este apartado, ya que son técnicas que se considerarán para determinar las MTD y, así, se analizan en el capítulo 4. Algunas de las descripciones proporcionadas aparecen en este documento de manera abreviada, ya que están disponibles en otros documentos BREF (por ejemplo, el BREF sobre gas y aguas residuales).

Emisiones y consumos de los tratamientos de aguas residuales

Los efluentes de las instalaciones de tratamiento de residuos contienen normalmente productos químicos orgánicos (por ejemplo, medidos como COT o DQO), nitrógeno, fósforo y cloro, ya que la mayoría de los residuos contienen originalmente algunos materiales orgánicos, aunque sólo sea en asociación con escapes de combustibles o de aceite de vehículos en la instalación o por el deshielo de superficies. Las cantidades elevadas de DQO, nitrógeno, fósforo y cloro pueden afectar al rendimiento del tratamiento de las aguas residuales.

Las principales emisiones de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales serán dióxido de carbono, metano y óxido nitroso al aire, y COT, nitrógeno, fósforo y cloro al agua o al alcantarillado. Las descargas acuosas se controlan normalmente, cosa que no ocurre frecuentemente con las emisiones al aire. Normalmente, existe información sobre la entrada de residuos que permitiría identificar grandes cantidades de residuos ricos en nitrógeno, y calcular un mínimo de emisiones de nitrógeno al aire basándose en un balance de masas y utilizando los

Capítulo 3

datos de descarga. Si existe información sobre el COT y la DQO en los residuos de entrada, se puede realizar un cálculo aproximado de las emisiones de dióxido de carbono.

Además, podría haber una serie de emisiones adicionales dependiendo de los residuos de entrada, como se indica en la tabla 3.157 o dependiendo de los pasos de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Parte PTAR	Emisiones		
Recepción	En sistemas de biotratamiento de residuos líquidos, es importante que el flujo de sustrato sea relativamente constante, así que los pozos de recepción o los depósitos de igualación son un elemento importante del proceso. Normalmente, los llenan camiones cisterna o reciben su contenido a través de una tubería desde la fuente. Hay posibilidades de que se produzcan escapes o emisiones al aire (potencialmente en el paso de los contaminantes del agua al aire) cuando los residuos se transfieren o se mezclan por unidades de aireación dentro de esos depósitos. Los constituyentes químicos volátiles son los más propensos a escapar en emisiones al aire.		
Procesos primarios	Las etapas iniciales de tratamiento prevén normalmente la eliminación de sólidos grandes o pequeños. Esto puede incluir un tamizado grueso o fino, sedimentación primaria o flotación disuelta en aire. Las principales fuentes potenciales de emisiones son actividades de transferencia desde y hacia estos procesos. Algunos componentes se concentrarán preferentemente en sólidos, que se recogen y almacenan tras el tratamiento primario. Se pueden utilizar floculantes u otros aditivos en la clarificación y se pueden añadir especies adicionales al flujo.		
Procesos secundarios	Predominantemente éstos incluirán una etapa aerobia en la que el efluente es aireado con oxígeno o con aire (HRT 0,5 - 3 días) para convertir los componentes orgánicos solubles en microorganismos (lodos) y efluente final. Las emisiones pueden tener lugar por la abundante actividad en el depósito de aireación y puede tener como consecuencia el paso al aire de elementos volátiles. Se supone normalmente que si los residuos se tratan de esta manera, las emisiones no son peligrosas, ya que el proceso es biológico. Aunque éste es el caso normal, no tiene por qué ser así y, en una ocasión, se liberó un conocido cancerígeno por el paso de elementos de las aguas al aire en el depósito de aireación, mientras que el rendimiento de la instalación no se vio afectado. No es fácil determinar todos los compuestos intermedios potenciales que pueden surgir como orgánicos complejos rotos durante el proceso, o su volatilidad bajo esas circunstancias. Tras el depósito de aireación, el efluente final es invariablemente separado en otro depósito de sedimentación o clarificador. De nuevo, en los lodos se pueden bioacumular algunos constituyentes orgánicos y metales.		
	<i>Emisiones gaseosas al aire</i> *	<i>Emisiones acuosas al alcantarillado o aguas controladas</i>	<i>Abono o lodos para su reutilización o para su eliminación posterior en vertedero</i>
Sistemas aerobios de aguas residuales	Dióxido de carbono, olores (debido principalmente a compuestos orgánicos), microbios	COT/N/P/Cl	COT/N/P
Sistemas anaerobios de aguas residuales	Metano, dióxido de carbono, microbios	COT/N/P/Cl	COT/N/P
* La gama real de gases producidos es mucho mayor y puede comprender el amoníaco y el monóxido de carbono en todos los procesos, pero son pequeñas en comparación con los productos de degradación principales.			

Tabla 3.157: Emisiones en los diferentes pasos de una instalación de tratamiento de aguas residuales
[56, Babbie Group Ltd, 2002]

En la tabla 3.158 se proporcionan algunos valores cuantitativos de las emisiones de los tratamientos de aguas residuales y se indica cómo se pueden calcular.

	Emisión al aire	Emisión a aguas de superficie/alcantarillado	Emisiones a la tierra y residuos sólidos
Amoníaco	Bajo.		

	Emisión al aire	Emisión a aguas de superficie/alcantarillado	Emisiones a la tierra y residuos sólidos
	Si se aceptan altos residuos de amoníaco es posible realizar un balance de masa en algunas instalaciones. Se generará también amoníaco en la eliminación de sólidos coloidales cuando se utilice el filtrado por vacío		
Dióxido de carbono (kg)	Es posible estimar la emisión a partir del $COT_{salida} - COT_{entrada}$		
Metano	Bajo		
Óxido nitroso	Bajo		
Otras especies: metales y orgánicos		Es posible estimar la entrada a partir del análisis de los residuos y después emprender cálculos basados en los datos analíticos de la salida de la instalación o revisar la probabilidad de descargas al aire, agua y lodos.	
COT			
DQO			
DBO		10 - 20 mg/l (flujo medido sobre la media del mes), para toda carga de entrada	
Total N			El nitrógeno y el fósforo en el efluente surgirán del tratamiento del ácido nítrico, compuestos de amoníaco, aminas, etc. y ácido fosfórico
Total P			
Cloro			
Fluoruro		El fluoruro no es un componente común del efluente, a menos que la instalación acepte activamente residuos con este contenido	
Metales pesados			Si las fuentes de mercurio o cadmio no pueden ser eliminadas o reducidas por control en la fuente, se requerirá una reducción para controlar los vertidos al agua. En el tratamiento biológico, el 75 - 95 % de estos metales se transferirán a los lodos. No es probable que los niveles causen problemas en la eliminación de los lodos, pero se habrá de prestar atención para garantizar que los niveles en el agua de recepción son aceptables.

Tabla 3.158: Emisiones relevantes del tratamiento de aguas residuales
 [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003]

Emisiones de COV

Las emisiones pueden tener lugar por la abundante actividad en el depósito de aireación y pueden tener como consecuencia el paso al aire de elementos volátiles. Se supone normalmente

que si los residuos se tratan de esta manera, las emisiones no son peligrosas, ya que el proceso es biológico. Aunque éste es el caso normal, no tiene por qué ser así, y en una ocasión, se liberó un conocido cancerígeno (por el paso de elementos de las aguas al aire en el depósito de aireación), mientras que el rendimiento de la instalación no se vio afectado.

No es fácil determinar todos los compuestos intermedios potenciales que pueden surgir como orgánicos complejos rotos durante el proceso, o su volatilidad bajo diversas circunstancias. Se puede esperar que la carga de alimentación que contiene un conocido contaminante orgánico volátil libere emisiones al aire en este punto del proceso. Una situación similar se dará en el caso de cargas de alimentación con nitrógeno excesivo.

Emisiones de amoníaco al aire

El amoníaco se genera a menudo en sistemas de paso de sustancias de líquidos al aire, en instalaciones de tratamiento de aguas residuales que trabajan con residuos con un alto contenido en nitrógeno, como lixiviados de vertedero.

Lodos

Tras el depósito de aireación, el efluente final se separa invariablemente en otro depósito de sedimentación o clarificador. De nuevo, algunos constituyentes orgánicos se pueden bioacumular en los lodos.

3.7 Control

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [122, Eucopro, 2003], [150, GTT, 2004]

En este apartado se proporciona un bosquejo de las prácticas de control y elaboración de informes halladas en el sector del tratamiento de residuos. El objetivo de este apartado es abarcar las prácticas que se utilizan ya en Europa para proporcionar una mejor orientación a las autoridades emisoras de permisos sobre la selección de las metodologías de control apropiadas, la frecuencia de control, los criterios de evaluación del cumplimiento y - el control ambiental apropiado. Sin embargo, en este apartado no se selecciona ningún tipo específico de procedimientos de la metodología de medida, frecuencia o evaluación, ni se abarcan los criterios de evaluación del cumplimiento específico. Sobre estos temas se puede encontrar orientación en el documento de referencia de control (véase el reverso de la página de portada).

Los compuestos o parámetros monitorizados y la frecuencia del control son muy variables en el sector del tratamiento de residuos. Dependen del tipo de residuos procesados, así como del tipo de procesos o actividades llevados a cabo. El control se debe adaptar al tipo de emisiones (por ejemplo, emisiones continuas o por lotes) y al tipo de tratamiento (por ejemplo, si es probable o no que haya emisiones de NO_x). En la tabla 3.159 y 3.160 se indican algunas prácticas de control aplicadas en algunos países de la UE.

Compuesto o parámetro que se ha de monitorizar	Propósito o frecuencia de monitorización
<i>Variables del proceso</i>	
Eficacia del proceso de tratamiento en conjunto. La precipitación de los metales de la solución para retirarlos con la torta de filtración. El grado de transferencia entre los residuos de entrada y las emisiones (al aire, residuos sólidos a la tierra y efluentes líquidos al alcantarillado, por ejemplo, pesticidas o disolventes)	Continua
Monitorización de la reacción (neutralización de ácidos o álcalis) para garantizar que la reacción está bajo control y yendo hacia el resultado previsto.	Monitorización automática y continua del pH y de la temperatura
Tratamiento con cianuro. El pH se ha de mantener a >10	pH continuo, libre de cloro continuo y contenido en CN continuo
Tratamiento de soluciones fenólicas. Supervisión de la reacción.	Temperatura del proceso, pH y redox potencial continuamente supervisados
Reproceso de aceite usado. Temperatura en recipientes de calentamiento y salidas del condensador a <90 °C	Continua y registrada
Estabilización	Para garantizar que el producto (de cada lote) cumple con la especificación declarada
Utilización de agua clara en todas las instalaciones y en puntos de uso individual	Normalmente continua y registrada
Consumo de energía en todas las instalaciones y en puntos de uso individual	Normalmente continua y registrada
<i>Emisiones al aire</i>	
Emisiones en la fuente, por ejemplo, en los reactores, recipientes de mezclado, recipientes de almacenamiento, trituradoras de tambores, respiraderos de los sistemas de extracción, biofiltros, por ejemplo, carbono y COV diferenciados	De diaria a semanalmente, con una gama representativa de condiciones operativas
Reproceso de aceite usado, recipientes de calentamiento, depósitos de recepción del aceite templado e instalación de filtrado	Semanalmente, con una gama representativa de condiciones operativas
Depósitos de proceso del aceite y salidas del condensador	Temperatura continua
Emisiones de combustión	Revisión trimestral de las chimeneas, o menos frecuente, en busca de CO, NO _x , y posiblemente SO _x , en partículas diversas según el proceso
Emisiones fugitivas: monitorización de los espacios limítrofes para detectar escapes en, por ejemplo, las zonas de almacenamiento de los tambores, carbono total y COV diferenciados	Semanalmente, con una gama representativa de condiciones operativas
Olor	Diariamente, así como olfatometría de dilución dinámica a intervalos apropiados

Compuesto o parámetro que se han de monitorizar	Propósito o frecuencia de monitorización típica
Ruido	Normalmente sólo si así lo requiere la normativa o si hay un riesgo potencial de molestias a los vecinos. Normalmente toma la forma de un estudio excepcional realizado por consultores externos
Diclorometano	A la mayoría de las instalaciones en las que se espera recibir disolventes de limpieza se les exige que controlen este compuesto
<i>Emisiones al agua</i>	
AOX	
BTEX	
DQO/DBO	Muestra medida del flujo o muestras compuestas, análisis semanal, comunicado a través de medias mensuales
Oxígeno disuelto	Continua
Tasa de flujo	Tasa de flujo continua e integrada. Los muestreadores proporcionales de flujo se utilizan comúnmente para tomar muestras compuestas. Pueden suplementarse también con muestras simples en depósitos preparados para la descarga
Metales	Diariamente, una o dos veces a la semana o mensualmente dependiendo del proceso. En algunos países, depende de la tasa de efluente (por ejemplo, <10 m ³ /día, <100 m ³ /día, >100 m ³ /día)
Nitrógeno	Diariamente, una o dos veces a la semana o mensualmente dependiendo del proceso. En algunos países, depende de la tasa de efluente (por ejemplo, <10 m ³ /día, <100 m ³ /día, >100 m ³ /día)
Olor	
HAP	
pH	Continua
Fenoles	
Fósforo	Diariamente, una o dos veces a la semana o mensualmente dependiendo del proceso. En algunos países, depende de la tasa de efluente (por ejemplo, <10 m ³ /día, <100 m ³ /día, >100 m ³ /día)
Sólidos suspendidos	Continua
Temperatura	Continua
COT	Continua. Este parámetro es normalmente más fácil de controlar que la DQO o la DBO cuando hay cloro en la emisión de aguas
Turbidez	Continua
<i>Emisiones de residuos</i>	
Cantidad	De estos datos se informa al menos anualmente a las autoridades

Tabla 3.159: Prácticas de monitorización aplicadas a instalaciones de tratamiento de residuos en la UE
 [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [122, Eucopro, 2003], [150, GTT, 2004]

Sector de tratamiento de residuos	Prácticas de control
Instalaciones químicas	Las instalaciones tienen sistemas de reducción de la contaminación extensivos que no suelen emprender regularmente un control de los gases de escape. Un programa típico de control consiste en un análisis trimestral de las chimeneas, sin embargo, es muy difícil coincidir con picos en la tasa de descarga de especies particulares
Estaciones de transferencia, procesos de manipulación y almacenamiento	Hay disponibles formulas simples para evaluar la descarga de COV en el llenado de depósitos de almacenamiento, trasvase de líquidos a los contenedores primarios, cuando se sacan de ellos y cuando esos contenedores, tambores o camiones cisterna se lavan. Los datos esenciales dependerán de la actividad afectada, pero generalmente consisten en información como el n.º de camiones cisterna, tambores o contenedores, su tamaño y la composición del flujo de residuos. Puesto que los residuos generalmente vienen de una serie de fuentes diferentes y a menudo están mezclados, los datos relativos a la composición del flujo de residuos suelen ser difíciles de determinar de una manera precisa para los operarios, así que no se guardan registros detallados de una manera regular. Sin esos datos, los cálculos sobre emisiones se habrán de basar en el constituyente primario de los residuos o en la fuente de residuos. Existen cuatro tipos de técnicas para la estimación de emisiones: muestreo o medida directa, balance de masa, análisis por combustible u otros cálculos de ingeniería y por factores de emisión (véase el BREF de control).
Instalación de tratamiento de aceite	En el Reino Unido se ha desarrollado el proyecto de un modelo informático para calcular las emisiones a partir de información básica sobre el peso del material de entrada y la cantidad y contenido en aceite de las descargas al alcantarillado y al vertedero. El modelo requiere ajustes para dar respuestas compatibles con la especificación para fuelóleos residuales utilizados en centrales eléctricas y el contenido conocido de residuos en las descargas al alcantarillado y lodos al vertedero. El modelo informático no proporciona una estimación del nitrógeno, fósforo, cloro o DQO totales al alcantarillado y éstos se habrán de calcular a partir del control de datos, si están disponibles.
Proceso de aceites usados	Las descargas al aire son más complejas de calcular teniendo sólo datos de la entrada, ya que las emisiones están menos definidas y el comportamiento de los aceites en diferentes procesos no está claro.
Disolvente residual	Sistemas rigurosos de muestreo diario en los respiraderos de los depósitos y biofiltros (si procede) en busca de COT. También un análisis de los compuestos químicos cada quincena en una serie de proceso y puntos de supervisión limítrofes.

Tabla 3.160: Prácticas de control para algunos procesos de tratamiento de residuos, utilizadas en la UE
[56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003]

Prácticas de control en instalaciones de tratamiento físico-químico de aguas residuales

Los aspectos de control del tratamiento físico-químico de aguas residuales comprenden:

- residuos con fósforo: no en todas las instalaciones se requiere que se controle regularmente el fósforo total, así que será más fácil realizar una estimación de esta emisión a partir de la entrada de ácido fosfórico
- residuos inorgánicos ocasionales: por ejemplo, residuos con arsénico. De nuevo, resulta más fácil calcular la emisión anual a partir de los datos de entrada de residuos ocasionales que ampliar el programa de control.

Las emisiones al aire son las descargas peor controladas de las instalaciones de tratamiento físico-químico.

Las principales descargas al aire podrían basarse en la monitorización, pero las emisiones fugitivas tendrán que estimarse, así como la posibilidad de contaminantes orgánicos.

Casi todas las instalaciones FQ tienen un complejo conjunto de condiciones relacionadas con la descarga al agua, que regulan la frecuencia de muestreo y de monitorización, y que establecen tanto la concentración máxima permitida para diferentes especies en el efluente como un máximo diario, semanal o mensual para diferentes especies. Esto requiere un control proporcional del flujo, o el control de cada lote antes de la descarga de un volumen establecido. Cada sistema proporciona los datos para calcular las emisiones anuales para una serie de especies principales. El problema en la estimación de emisiones al agua está restringido a las especies cuya existencia se conoce, pero para las que no hay datos de monitorización, y a las especies no esperadas que llegan en flujos de residuos particulares. Otras especies inorgánicas, como el arsénico, probablemente se pueden estimar a partir de la entrada de la instalación, ya que los tratamientos de residuos contaminados con esos componentes son normalmente actividades ocasionales.

Prácticas de control y muestreo aplicadas a la preparación de combustible a partir de residuos peligrosos

En el apartado 2.1.1. hay disponible más información sobre muestreo. Cada tipo de residuos necesita un protocolo de muestreo específico basado en las propiedades físico-químicas de los residuos [150, GTT, 2004].

Muestreo de entregas de residuos individuales

Líquidos (de camiones cisterna, es decir, disolventes, aceite usado)

Las muestras se toman con el tubo de muestreo de 2,5 m de cada compartimento del camión o contenedor (alrededor de uno o dos litros cada una). El tubo de muestreo se ha de enjuagar con líquido antes de recoger las muestras. El tubo se mete lentamente hasta el fondo del depósito con el extremo de la válvula hacia abajo. Una vez cerrada la válvula, se sube la tubería y el líquido se pasa a una lata de aluminio.

Las muestras se mezclan y tras una homogeneización (agitación), se transfiere un volumen de alrededor de 0,5 litros a una botella de plástico, que se envía al laboratorio para su análisis. El tubo se debe limpiar tras cada conjunto de muestras para evitar la contaminación de la siguiente muestra.

Masas de sólidos (por ejemplo, de contenedores abiertos)

Se recogen de 6 a 8 muestras de alrededor de 0,5 o 1 kg cada una con la pala de muestreo, de diferentes partes y niveles del contenedor. Las muestras se combinan, homogeneizadas manualmente y mezcladas. La muestra final de alrededor de 1 kg (bolsa o botella de plástico) se etiqueta adecuadamente y se manda al laboratorio.

La pala de muestreo se debe limpiar con un trapo tras cada conjunto de muestras. Los trapos se tiran en un cubo para residuos aparte.

Tambores (200 litros)

Dependiendo de la naturaleza de los residuos (líquidos, pastosos o sólidos), las muestras se toman con el tubo de muestreo corto, la pala de aluminio o la cuchara de cada tambor (cerca de 0,125 litros de cada). Las muestras de ocho tambores, que suman alrededor de 1 litro, se combinan y homogeneizan. Una muestra final de alrededor de 1 litro se obtiene de la mezcla y homogeneización de varias muestras de lotes de ocho tambores, y se transfiere al laboratorio. La cantidad de muestras restante se destina a un tambor para desechos.

Los tambores con líquidos y materiales pastosos en un sólo lote de envío se deberán muestrear de forma separada. La muestra preparada se deberá etiquetar con atención.

Latas (pequeño volumen)

Se deberá llevar a cabo un muestreo representativo y aleatorio de cada carga. Los procedimientos de muestreo se corresponden con los procedimientos aplicados en el muestreo de tambores.

Las muestras mezcladas y homogeneizadas de alrededor de 1 litro, de cada estado físico (líquido, pastoso, sólido) se pasan al laboratorio. Se deben guardar varias muestras individuales para tener una referencia.

Debido a los problemas inherentes del muestreo de residuos heterogéneos de un gran número de contenedores de pequeño volumen, se recomienda añadir una segunda estación (automática) de muestreo antes del premezclador de la instalación de mezclado.

Cuando se reciben en el laboratorio, todas las muestras se inscriben en un registro de recepción específico.

Almacenamiento de muestras

Las muestras se deben guardar en botellas cuidadosamente etiquetadas y selladas, en un cuarto de almacenamiento aparte, cercano al laboratorio. El cuarto de almacenamiento debe estar equipado con una ventilación adecuada, control de humedad y temperatura y un sistema de filtro de aire (carbón activo) para las emisiones al exterior.

Duración del almacenamiento de muestras (si no se especifica de otra manera en el permiso operativo):

- alrededor de 3 años en el caso de muestras de referencia de las pruebas de cualificación de residuos;
- alrededor de 3 meses en el caso de muestras de entregas diarias;
- alrededor de 3 meses para muestras de envíos o de productos terminados.

Parámetros	Ejemplos de principios de análisis
Densidad	Pesado
Viscosidad	Viscosímetro
Punto de inflamación	Copa abierta o cerrada
PCI	Calorímetros
Contenido en agua	Karl Fisher
pH	Medidores de pH
Contenido en ceniza	Calcinación a 900 - 975 °C
Cloro	Calcinación/titrimetría, cromatografía iónica
Flúor	Calcinación/potenciometría, cromatografía iónica
Bromo	Calcinación/titrimetría, cromatografía iónica
Yodo	Calcinación/titrimetría, cromatografía iónica
Metales pesados	ICP, fluorescencia X
PCB	GC/ECD
PCP	GC/ECD
Azufre	ICP, fluorescencia X, cromatografía iónica, colorimetría
Álcalis	ICP, fluorescencia X, absorción atómica
Prueba de compatibilidad	En función de los residuos recibidos

Tabla 3.161: Ejemplos de parámetros y principios de análisis utilizados en el muestreo [122, Eucopro, 2003], [150, GTT, 2004]

Una de las medidas más importantes es el control ambiental a partir de la recolección de muestras del medio circundantes y su testeado para buscar la presencia de sustancias peligrosas que pueden haber sido liberadas por las instalaciones. El objetivo es detectar problemas potenciales antes de que tengan un impacto en la salud humana y en el medio ambiente. Una detección temprana dará un tiempo suficiente para alertar sobre los individuos potencialmente afectados y permitirá la aplicación efectiva de remedios. Los puntos de control importantes son pozos subterráneos de almacenamiento, instalaciones en vertederos y estaciones de control del aire, en las ubicaciones más importantes de las instalaciones. El control puede también

comprender las aguas de superficie, los empleados (muestras de sangre por ejemplo) y la flora y la fauna.

Control de las emisiones al aire

Control del polvo (para todos los tipos de producción de combustibles sustitutivos)

- emisiones canalizadas: un control por año, realizado por un laboratorio certificado;
- sistemas de tratamiento del aire: seguimiento de la eficacia del ciclón y de los filtros de mangas por caída de presión y medidas de opacidad;
- las emisiones difusas de polvo pueden evaluarse por medidas con un indicador Owen ubicado en la instalación

Control de COV

- olor: las pruebas estándar para la detección de olores (por ejemplo, EN 13725, European Reference Odour mass, EROM) se pueden utilizar para identificar la influencia del proceso en los vecinos y en el ambiente de los trabajadores. Se pueden realizar muestras en bolsas para la cualificación y cuantificación de los contaminantes en un laboratorio;
- emisiones difusas: las emisiones difusas se miden dentro y fuera de los talleres tomando muestras. Se pueden realizar análisis cuantitativos y cualitativos;
- medidas canalizadas: los COV se miden continuamente por un sistema DIL o de acuerdo a campañas de medidas individuales. Estas condiciones se definen en el permiso.

Control de ruidos

Debido al relativamente bajo nivel de ruidos, no se requiere normalmente un control específico. Sin embargo, se pueden llevar a cabo medidas para la salud y seguridad de los trabajadores, y especialmente para una evaluación de impacto ambiental, en particular cuando se pone en funcionamiento un equipamiento nuevo.

4 TÉCNICAS QUE SE HAN DE CONSIDERAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS MTD

En este capítulo se establecen las técnicas que generalmente se aceptan como con potencial para conseguir unos niveles más altos de protección ambiental en las industrias concernidas por este documento. Se comprenden sistemas de gestión, técnicas integradas en los procesos y medidas de final de línea, pero estos tres aspectos coinciden en parte cuando se buscan los resultados óptimos.

Se consideran la prevención, control, minimización y procedimientos de reciclaje, así como la reutilización de materiales y energía.

Las técnicas se pueden presentar de forma individual o como combinaciones para lograr los objetivos de la IPCC. En el anexo IV de la Directiva se enumeran una serie de consideraciones generales que se han de tener en cuenta cuando se determinen las MTD dentro de este capítulo que se refieren a dichas consideraciones. Dentro de lo posible, se utiliza una estructura estándar para describir cada técnica, para permitir una comparación entre las técnicas y una evaluación del objetivo respecto de la definición de las MTD dadas en la Directiva.

El contenido de este capítulo no es una lista exhaustiva de las técnicas y pueden existir o se pueden desarrollar otras igualmente válidas dentro del marco de las MTD.

Generalmente se utiliza una estructura estándar para describir cada técnica, como se muestra en la tabla 4.1:

<i>Nombre del tipo de información</i>	<i>Tipo de información incluida</i>
Descripción	Descripción de la técnica
Beneficios ambientales obtenidos	Los impacto(s) ambiental(es) principal(es) son el objetivo de la técnica (proceso o reducción), incluyendo los valores de emisión (normalmente una gama) conseguidos y los resultados de eficacia. Los beneficios ambientales de la técnica en comparación con otros
Efectos cruzados	Todos los efectos secundarios e inconvenientes para otros medios causados por la aplicación. Problemas ambientales de la técnica, en comparación con otras y cómo evitarlos o resolverlos
Datos operativos	Datos de rendimiento en emisiones/residuos y consumo (materias primas, agua y energía). Cualquier otra información útil sobre cómo llevar a cabo, mantener y controlar la técnica, incluyendo aspectos sobre seguridad y dificultades de funcionamiento de la técnica
Aplicabilidad	Aplicabilidad technoeconómica. Consideración de la antigüedad de la instalación (nueva o existente), tamaño de la instalación (grande o pequeño) y factores implicados en la remodelación (por ejemplo, disponibilidad de espacio). Se incluye también información sobre qué actividad de tratamiento de residuos se aplica en cada caso.
Factores económicos	Información sobre los costes (inversiones y funcionamiento) y cualquier ahorro (por ejemplo, menor consumo de materias primas, cargos por residuos) relacionado con la capacidad de la técnica (por ejemplo, EUR/tonelada). Los valores en monedas que no sean el euro se habrán de convertir de acuerdo con los factores de conversión media anual de 2002. En esos casos, se incluirán los datos de costes originales junto con el año y la moneda correspondientes.
Motivo principal para su aplicación	Condiciones o requisitos locales que han llevado a la implantación de la técnica. Información sobre las razones diferentes de las ambientales para la implantación (por ejemplo, mejora en la calidad de productos, rendimiento aumentado)
Instalaciones de ejemplo	Referencia a instalaciones que apliquen la técnica en Europa y en el resto del mundo. Si todavía no se ha aplicado la técnica en el sector o en la UE, una breve explicación del motivo
Bibliografía	Fuentes para una información más detallada acerca de la técnica

Tabla 4.1: Desglose de la información sobre cada técnica incluida en el capítulo 4

Cuando sea posible, este capítulo proporcionará información de las actividades reales que se pueden implantar o se están implantando en el sector, incluyendo los costes correspondientes. Siempre que sea posible, en la información proporcionada se dará el contexto en el que la técnica se puede utilizar de manera efectiva.

Organización del capítulo

Como en los capítulos 2 y 3 previos, en cada apartado de este capítulo se trata con una actividad de tratamientos de residuos específica y contiene el proceso y las técnicas de reducción de la contaminación que se han de considerar para la determinación de las MTD. Si existen diferentes técnicas de proceso para una actividad, se discuten dentro de cada apartado. Se han estructurado los apartados de 4.1 a 4.5 de la misma manera, es decir, en el apartado se tratan primeramente las técnicas de prevención de la contaminación, aplicables en la actividad o proceso a los que el apartado se refiere, y después las técnicas de final de línea que se pueden aplicar para reducir las emisiones resultantes de dicho proceso o actividad. Estas técnicas de final de línea (TFL) se agrupan según los medios/contaminantes para aclarar la secuencia de técnicas aplicables, ya que el número de técnicas disponibles puede ser muy extenso a veces. Esta estructura no se debe interpretar como un intento de proporcionar orientación sobre si un tratamiento de residuos es valorización (R) o eliminación (D) según la legislación sobre residuos de la CE.

Al final del capítulo, hay tres apartados que contienen las técnicas de final de línea (TFL) aplicables a los gases y aguas residuales y a los residuos generados durante el proceso. En estos apartados se describen las técnicas de TFL «comunes», que pueden ser aplicables en más de un tipo de proceso o actividad. Por consiguiente, las descripciones de esas técnicas de TFL se encuentran en sus propios apartados, es decir, los apartados 4.6, 4.7 y 4.8, y no en los apartados de procesos o actividades aparte.

En algunos casos, las técnicas y los procedimientos están agrupados juntos y se analizan bajo el mismo apartado de este capítulo. Esto es el resultado del hallazgo de un equilibrio adecuado entre la información necesaria para determinar las MTD y el mantenimiento de este documento dentro de un tamaño cómodo para el usuario. Por ejemplo, este documento contiene mucha información sobre procedimientos de aceptación aplicados a las instalaciones de tratamiento de residuos. En este caso, se ha decidido incluir todos esos procedimientos juntos, bajo el mismo encabezamiento de una técnica, pudiendo así discutir todos los temas o aspectos relativos en el mismo sitio. Si no se hubiera aplicado este enfoque, este documento sería mucho mayor y se podrían dar muchas más repeticiones.

4.1 Técnicas comunes que se han de tener en cuenta para la determinación de las MTD

Este apartado contiene técnicas que se considera tienen un buen resultado operativo ambiental (por ejemplo, utilización de un buen sistema de energía) o que pueden llevar a un rendimiento ambiental bueno (por ejemplo, sistemas de gestión ambiental). La mayoría de estas técnicas están aplicadas en instalaciones y no son específicas de ningún proceso particular de los que se describen en los apartados 4.2 a 4.5.

4.1.1 Técnicas para mejorar los conocimientos sobre los residuos de entrada

En este apartado se abarcan las técnicas que ayudan al operario a caracterizar los residuos de entrada que se han de tratar. El rigor con que se realiza esta caracterización es esencial para las operaciones de tratamientos de residuos posteriores. Ejemplos pasados demuestran que, si no se examinan adecuadamente las muestras antes de su aceptación y si no se confirma su composición a su llegada a las instalaciones, se sucederán después los problemas, incluyendo un almacenamiento inadecuado y el mezclado de sustancias incompatibles, acumulación de residuos y tratamiento no esperado, y por ello perfiles de emisión no esperados.

4.1.1.1 Caracterización de la composición de los residuos

Descripción

La variada naturaleza de la industria de los residuos y las grandes diferencias entre los residuos generados por cada sector económico dictan que la mayoría de los flujos de residuos manipulados en una instalación de tratamiento serán normalmente variados. Los residuos consisten en mezclas complejas de constituyentes, algunas veces desconocidos. Por esta razón, es importante tener un conocimiento mejor de los constituyentes primarios, así como de la fuente de los residuos. Además de la manera directa de determinar la composición de los residuos, por ejemplo, a través de un análisis, existen otros enfoques indirectos que pueden acometerse, incluyendo:

- analizar datos de estudios de mercado. Esta técnica se centra en los bienes tras su producción; basándose en que todos los bienes acabarán siendo residuos antes o después y considerando ciertos factores influyentes; utilizando los estudios de mercado es posible calcular la cantidad de bienes que terminan como RSM, por ejemplo. Un método similar se puede aplicar observando la entrada en domicilios privados;
- analizar salidas de tratamiento de residuos. De acuerdo con el principio de equilibrio, la entrada elemental equivale a la salida elemental. Centrándose en los productos de los tratamientos de residuos, es posible determinar los residuos de entrada, en términos de sustancias, por medio de la realización de mediciones rutinarias;
- además resulta oportuno destacar que existen, por supuesto, algunos residuos que están compuestos de una mezcla de residuos en la fuente donde se originan. Normalmente, el productor de residuos conocerá la composición de este flujo de residuos. Si el productor de residuos adopta un buen sistema de gestión de residuos, informará al recolector de residuos de la composición de éstos. Esto es importante, ya que la clasificación e identificación de los residuos no debe recaer sobre el recolector de residuos, sino que debe ser la responsabilidad primaria del productor de residuos. Este sistema está relacionado con el que se menciona en el apartado 4.1.2.9.

Los métodos de análisis indirecto para determinar la composición de los residuos pueden complementar al método de análisis directo. Algunas técnicas que se deben considerar en particular aparecen en la tabla 4.2 de más abajo:

Técnica	Información
Identificar el(los) constituyente(s) principal(es)	Cuando se conocen los constituyentes principales del flujo de residuos, es posible categorizarlo con un potencial de emisiones alto, medio o bajo. Un ejemplo de esto puede ser el hecho de basar la evaluación en la volatilidad de los elementos constituyentes, tal como lo notifica el productor de residuos
Identificar la fuente de residuos	El conocimiento sobre la fuente de residuos (por ejemplo, industria de la pintura, farmacéutica, de la automoción, etc.) proporciona una buena orientación sobre el tipo de componentes que pueden estar presente en ellos. Esto permitirá la adopción del método más simple para categorizar los residuos. La LER utiliza este sistema. No obstante, los datos disponibles son a menudo insuficientes para permitir el desarrollo de este método en la actualidad. Sería necesario acometer más investigaciones para establecer las fuentes más comunes de los flujos de residuos; sus composiciones y la consistencia de dicha composición.
Conocimiento del contenido orgánico de los residuos	Algunos métodos de colorimetría, por ejemplo, pueden proporcionar una indicación del contenido orgánico de los residuos de entrada. Sin embargo, éstos quizá no sean adecuados para disolventes orgánicos (en tales casos, la cromatografía por gas es más adecuada)
Garantizar una transferencia adecuada del conocimiento entre los propietarios de los residuos	Como con otros flujos de residuos, las medidas de control son cruciales para garantizar una transferencia adecuada del conocimiento entre los propietarios de los residuos. Esto garantizará que los constituyentes de todos los residuos que forman una masa mezclada juntos se conocen y registran

Tabla 4.2: Técnicas de caracterización de la composición de residuos
[56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

El tipo de análisis requerido para caracterizar con precisión los residuos variará según la naturaleza de los residuos, el proceso que se habrá de usar y lo que se conoce de los residuos ya. Los resultados de todos los análisis se han de guardar dentro del sistema de seguimiento. Estos detalles pueden incluir información sobre:

- comprobaciones de los constituyentes realizados por el productor/propietario de los residuos para garantizar el cumplimiento de la normativa y que éstos son adecuados para la especificación de la instalación de tratamiento y la opción de eliminación final. Esta comprobación abarcará también otras comprobaciones de la presencia de cualquier constituyente que pueda ser potencialmente dañino para el proceso de tratamiento
- todas las características peligrosas (por ejemplo, inflamabilidad, explosividad, infectividad)
- apariencia física (por ejemplo, consistencia)
- evaluación de la compatibilidad (por ejemplo, reacciones con el agua y otras sustancias)
- color
- acidez o alcalinidad
- evaluación de la presencia, intensidad y descripción del olor
- presencia de oxidantes
- COT
- DQO
- amoníaco
- punto de inflamación y propiedades de combustión en condiciones normales
- presencia de sulfuros
- presencia de cianuros
- compuestos con halógenos
- azufre
- metales (por ejemplo, metales pesados)
- COV
- COP (por ejemplo, PCB)

En la tabla 4.3 se muestra una lista de los parámetros que pueden analizarse para la producción de combustible a partir de residuos peligrosos.

Parámetros	Preceptación	Aceptación	Proceso de preparación del combustible residual ¹	Envío
Densidad	Sí	Opcional	Opcional	Opcional
Viscosidad	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
<i>Punto de inflamación</i>	Sí	Sí	Opcional	Sí
<i>PCI</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
Presión del vapor	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Contenido en agua	Sí	Sí	Opcional	Sí
<i>pH</i>	Sí	Sí	Opcional	Sí
Contenidos en ceniza	Sí	Opcional	Opcional	Sí
Composición de la ceniza	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
<i>Cloro</i>	Sí	Sí	Sí	Sí
Flúor	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Bromo	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Yodo	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
<i>Metales pesados</i>				
• volátiles (Cd, Hg, Tl)	Sí	Sí	Opcional	Sí
• otros	Sí	Sí	Opcional	Sí
<i>PCB</i>	Sí	Sí	Opcional	Sí
Pentaclorofenol (PCP)	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Azufre	Sí	Opcional	Opcional	Opcional
Álcalis	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Prueba de corrosión	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
<i>Prueba de compatibilidad</i>	Sí	Sí	-	-
Radiactividad	Opcional	Sí	-	Opcional
Notas:				
¹	depende del tipo de producción			
Opcional	depende del tipo de residuos, procesos operativos (preparación de combustible sustitutivo sólido o líquido) y de acuerdo con los requisitos y especificaciones de los usuarios finales			
<i>En cursiva</i>	controles mínimos requeridos en un procedimiento estándar			

Tabla 4.3: Lista de parámetros de análisis considerados normalmente en la producción de combustible a partir de residuos peligrosos [122, Eucopro, 2003]

Normalmente un criterio de buena aceptación comprende el conocimiento de los parámetros siguientes de los aceites usados.

Parámetro	Aceptación	Envío
Contenido en agua	Sí	
Contenido sólido	Sí	
Punto de inflamación	Sí	
Curva de destilación	Sí	
PCB	Sí	
Total Cl	Sí	
S	Sí	
Pb, Cr, V, Cu, Ni	Sí	
Ésteres sintéticos y aceites grasos	Sí	
Color		Sí
Viscosidad		Sí
Índice de viscosidad		Sí

Tabla 4.4: Lista de parámetros de análisis considerados normalmente en el tratamiento de aceites usados [42, R.U., 1995], [55, UK EA, 2001], [119, Watco, 2002]

Beneficios ambientales obtenidos

Mejora el conocimiento de los aspectos ambientales potenciales relacionados con los residuos que se han de tratar y reduce el riesgo de accidentes u operaciones incorrectas.

Efectos cruzados

No identificados.

Datos operativos

En las instalaciones se llevan a cabo exámenes para confirmar que los residuos están dentro de los parámetros, pero normalmente con éstos no se pueden identificar todos los contaminantes potenciales en el flujo de residuos. Por lo tanto, la caracterización por parte de los productores de residuos y los operarios del tratamiento de residuos forma parte de un requisito general para todas las instalaciones, y proporciona una orientación sobre métodos de examen efectivos. Por ejemplo, un conjunto completo de análisis de aceites usados dura alrededor de 2 horas.

Aplicabilidad

Esta técnica es totalmente aplicable en todas las instalaciones de tratamiento de residuos que reciban residuos. El inconveniente del análisis de los productos residuales es que la determinación íntegra de los materiales constituyentes no se logra generalmente; por ejemplo, no es posible calcular el contenido en papel, plástico o sustancias orgánicas de la composición de los productos de combustión. Este método se limita al análisis de la composición elemental y a parámetros como el contenido en energía, en agua o en materia orgánica e inorgánica.

Factores económicos

En una estimación se muestra que la inversión en equipamiento de análisis en el caso de unas instalaciones de tratamiento de aceites usados es del orden de los 75.000 EUR (50.000 GBP) por instalación..

Motivo principal para su aplicación

Una mejor operabilidad reduce los riesgos económicos y del proceso. El contenido sólido y en agua se analiza en los aceites usados por motivos de calidad y de pago. Esto se ha fomentado en parte por los requisitos de calidad de los usuarios del aceite tratado, pero no siempre es un requisito uniforme.

Instalaciones de ejemplo

El análisis de los productos de tratamiento de residuos ya se ha aplicado en muchos países. En algunos casos hay un análisis inicial (por ejemplo, azufre, total de cloro, agua y punto de inflamación para los tratamientos de aceites usados). Si el aceite pasa estas pruebas, se pone en cuarentena antes de someterlo a más análisis. En ellos se incluirá una viscosimetría y análisis por infrarrojos para buscar la presencia de ciertos compuestos, incluyendo los ésteres sintéticos y aceites grasos. Dentro del trabajo realizado por el grupo de trabajo 2 de CEN/TC 343, «especificaciones y clases», se puede encontrar información adicional sobre combustibles y sólidos recuperados (CSR). Se puede encontrar además información más específica sobre combustibles de residuos en el apartado 4.5.1 de este documento.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [81, VDI y Dechema, 2002], [86, GTT, 2003], [119, Watco, 2002], [131, UBA, 2003], [122, Eucopro, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.1.1.2 Procedimiento de preceptación para evaluar si los residuos son adecuados para su almacenamiento o tratamiento en las instalaciones

Descripción

Se pueden poner en práctica sistemas y procedimientos para garantizar que los residuos son objeto de la evaluación técnica apropiada, para garantizar que la ruta de tratamiento propuesta sea la adecuada. Algunas técnicas de preceptación y procedimientos aplicados para evaluar los residuos son:

- a. llevar a cabo comprobaciones adecuadas antes de que se tome ninguna decisión relativa a la aceptación de los residuos;
- b. tener un paso inicial de examen, que implique la provisión de información y muestras representativas de los residuos. Los productores de residuos y el operario de la instalación receptora deben garantizar que se ha proporcionado una información fiable y exhaustiva para determinar si los residuos son adecuados para el proceso de tratamiento (o valorización) en cuestión. Esto también se aplica si los residuos sólo se han de almacenar o preparar en la instalación, para que la información se pueda proporcionar al siguiente propietario de los residuos y se identifique la ruta de eliminación final;
- c. proporcionar detalles sobre la naturaleza del (de los) proceso(s) por los que se producen los residuos, incluyendo la variabilidad de dicho proceso. Como las circunstancias de la producción de residuos puede variar, se requiere un juicio profesional sensato para garantizar que las cuestiones relevantes están respondidas. Los operarios tienen que garantizar que se lleva a cabo una evaluación técnica por parte de personal cualificado y con experiencia, que entiende las capacidades de la instalación. Este personal tiene que ser independiente del personal de ventas responsable de la obtención del trato con el cliente;
- d. proporcionar la composición química de los residuos, sus requisitos de manipulación y sus riesgos;
- e. proporcionar y analizar una(s) muestra(s) representativa(s) de los residuos del proceso de producción del propietario actual del que vienen tales residuos;
- f. llevar a cabo una caracterización exhaustiva de los residuos, en cada nuevo estudio sobre residuos;
- g. requerir una verificación de la información escrita proporcionada por el propietario de los residuos. Esto puede requerir una visita al productor de residuos, ya que pueden surgir factores adicionales cuando se trate directamente con el personal involucrado en la producción de residuos;
- h. verificar cuidadosamente la información recibida en la fase de preceptación, incluyendo los detalles de contacto del productor de residuos y una descripción completa de los residuos en lo que concierne a su composición y peligrosidad. Esto también se puede llevar a cabo tratando directamente con el productor de residuos;
- i. mantener en la instalación todos los registros relacionados con la preceptación para su referencia cruzada y verificación en la fase de aceptación de los residuos. Se ha de determinar la duración del tiempo durante el que los residuos se deben guardar, teniendo en cuenta si los residuos ya están en la instalación o para cuándo se espera su entrega;
- j. aplicación de criterios de olor para rechazar mercaptanos, aminas de bajo peso molecular, acrilatos u otros materiales similares altamente olorosos, que sólo pueden aceptarse con requisitos de manipulación especiales;
- k. proporcionar y verificar los datos del código de los residuos de acuerdo con la lista europea de residuos (LER);
- l. preguntar al operador de la instalación de TR sobre si las instalaciones de TR en cuestión tienen permiso para tratar los residuos declarados y si el operador de TR está preparado para aceptar los residuos (véanse los comentarios en el apartado sobre datos operativos);
- m. llevar a cabo un procedimiento de evaluación de riesgos;
- n. emitir una declaración de aceptación por parte del operador de TR, en la que se describirán todas las condiciones y medidas necesarias que debe tener en cuenta el cliente de los residuos (por ejemplo, el productor de residuos). Además, se han de entregar por escrito al mismo tiempo todas las normas internas de la instalación receptora para el tratamiento del flujo de residuos.

Beneficios ambientales obtenidos

Estas técnicas pueden ayudar a los operadores a identificar y así no aceptar residuos no adecuados, que podrían conllevar reacciones adversas o emisiones no controladas durante la actividad de TR. Así, garantizarán que sólo se aceptan residuos adecuados para la actividad de TR de la instalación en concreto.

La experiencia real sobre estas técnicas ha demostrado que la seguridad de obtener información suficiente no se puede confiar sólo a estas técnicas. No es raro que el productor de residuos y el operador estén separados por un tercero y, en algunos casos, por todavía más intermediarios. Éstos pueden ser contratistas de transportes, agentes u operadores de transferencia de residuos. Si hay una cadena larga, la información se puede perder o reproducir de manera imprecisa. Sin embargo, estas técnicas permitirán a los operadores determinar la idoneidad de los residuos para la actividad antes de que se llegue a acuerdos para aceptar los residuos. Entre otros beneficios, se pueden citar:

- el suministro de información mantiene el número de vínculos en una cadena en un valor bajo. Esto ayuda a evitar que la información se pierda o se tergiverse;
- ayudar a los operadores a desechar residuos inadecuados para evitar problemas potenciales;
- confirmar los detalles de la composición, permitiendo la identificación de una serie de parámetros de verificación para examinar los residuos que llegan a la instalación;
- ayudar a identificar cualquier sustancia dentro de los residuos que pueda afectar al proceso de tratamiento o que pueda reaccionar con otros reactivos;
- ayudar a definir con precisión todos los peligros relacionados con los residuos;
- identificar cualquier sustancia dentro de los residuos que pueda no verse afectada por el proceso de tratamiento y que, por lo tanto, pueda transferirse sin alteración alguna a los residuos o al efluente;
- ayudar a determinar el coste de la opción de eliminación identificada;
- garantizar el cumplimiento de la normativa (dependiendo del país).

Efectos cruzados

Éstos están relacionados con el análisis físico-químico específico llevado a cabo.

En relación con la técnica k (véase la descripción más arriba), los códigos de residuos no proporcionan mucha información, en muchos casos, sobre la composición de los residuos clasificados. Los residuos con el mismo código de residuos pueden tener composiciones y cualidades totalmente diferentes.

Datos operativos

Abarca el trabajo administrativo y de laboratorio.

En relación con la técnica c (véase la descripción más arriba), hay casos en los que la composición de los residuos no se puede conocer (es decir, la recolección de residuos peligrosos de domicilios). En esos casos, los operadores que recojan y acepten ese tipo de residuos tendrán que tener la experiencia necesaria para manipularlos de una manera segura.

En relación con la técnica k (véase la descripción más arriba), es el deber del productor de residuos decidir sobre el código de residuos de la LER apropiado. Esto no es una tarea del operador de TR.

En algunos casos, la verificación mencionada en la técnica l de la descripción de más arriba puede tener lugar antes del primer contacto con el operador de TR para el procedimiento de preceptación o antes de firmar el contrato.

Aplicabilidad

El requisito para caracterizar los residuos, incluyendo el muestreo y el análisis, se aplica igualmente a la transferencia de residuos y a las instalaciones de tratamiento. A menudo, existe

un rechazo entre terceras partes para divulgar la identidad del productor de residuos, ya que esto puede tener beneficios comerciales. No obstante, esto no puede invalidar el requisito fundamental del operador concerniente a verificar la información sobre los residuos proporcionada por el productor de residuos (no sólo el propietario actual), el cual es naturalmente el mejor situado para verificar los residuos. A continuación se muestran algunos ejemplos de aplicación:

Preceptación para el tratamiento de aceite usado

Como requisito general, este paso no es crítico para una instalación de tratamiento de aceites usados, pero se requerirá si los residuos están destinados al tratamiento en una refinería de aceite mineral, por ejemplo. Normalmente, el aceite proviene de un gran número de fuentes de pequeño volumen, como talleres, pero su composición es, en lo esencial, fija. Se han de aplicar procedimientos de preceptación relacionados con la recolección de información para los residuos industriales excepcionales de aceites y para otros residuos de fuentes en las que se pueden manipular otros contaminantes químicos potenciales, por ejemplo, por la fabricación química. La contaminación del aceite usado por sustancias como disolventes ocurre y, aunque el operador puede aceptar niveles de contaminación relativamente bajos, siempre que éstos no afecten a la venta del aceite valorizado, la contaminación tiene que identificarse de todas maneras. Los disolventes con un punto de inflamación bajo darán lugar a dificultades de manipulación, ya que las instalaciones no están preparadas para el manejo de materiales inflamables. La contaminación con petróleo ocurre a menudo, lo que reduce significativamente el punto de inflamación del material y así se incrementa también significativamente el riesgo de accidentes. Se ha de prestar atención en la elección e interpretación de la determinación del punto de inflamación más apropiado. Los disolventes serán retirados asimismo en el proceso de calentamiento, lo que aumentará las emisiones de COV. La contaminación con PCB puede acabar con la transferencia de dichos PCB al producto, lo que da lugar a la formación de dioxinas si se utiliza en una combustión posterior, a los lodos del aceite en el fondo de los depósitos o al efluente.

Preceptación de residuos de laboratorio

Si hay tambores que se utilizan para residuos de laboratorio, se creará una lista de los contenidos y ésta se guardará dentro del tambor bajo la tapa. Como sucede con otros tipos de embalajes que contienen residuos de laboratorio, se crea una lista de los contenidos y se almacena de manera adecuada dentro del embalaje o pegada a éste. Entonces se etiqueta cada tambor (u otro embalaje) con respecto al riesgo de transporte (por ejemplo, reglamentos ADR). El nivel de supervisión o gestión de este tipo de situación depende de una serie de factores. En cualquier caso, se ha de elaborar una lista completa con las exigencias de los contenidos. Para los operadores que aceptan residuos embalados por sus clientes, normalmente antes se ha proporcionado una orientación a éstos sobre dicho embalaje. Los productores de residuos necesitan procedimientos escritos relativos a la segregación, embalaje y etiquetado de residuos de laboratorio.

Estudio del alcance para instalaciones físico-químicas

Las instalaciones tienen que acometer un estudio de alcance para identificar los materiales que no están cubiertos por su programa de supervisión de efluentes pero que se aceptan en la instalación. Las principales áreas que se han de considerar son:

- residuos acuosos que contienen disolventes que se pueden emitir debido al calor del proceso;
- residuos con un alto contenido en nitrógeno, con potenciales emisiones de amoníaco al aire;
- residuos con fósforo: no todas las instalaciones requieren que se supervise regularmente el «fósforo total», así que en esas instalaciones será más fácil estimar esta emisión a partir de la entrada de ácido fosfórico;
- residuos inorgánicos ocasionales: por ejemplo, residuos con arsénico. De nuevo, resulta más fácil calcular la emisión anual a partir de los datos de entrada de residuos ocasionales que ampliar el programa de monitorización.

Factores económicos

Costes administrativos adicionales (por ejemplo, embalado, etiquetado).

Motivo principal para su aplicación

Normalmente estos procedimientos están incluidos en la legislación nacional de varios países, en notas de orientación o en los permisos operativos de las instalaciones. Los componentes químicos y los parámetros que se han de analizar suelen estar definidos.

La toma de muestras de residuos heterogéneos es especialmente difícil y necesita de operarios con experiencia. El trabajo del CEN TC 292 o los documentos de la alemana LAGA pueden proporcionar una cierta orientación.

Instalaciones de ejemplo

Muchas de estas técnicas se utilizan comúnmente en el sector del TR. Por ejemplo, las instalaciones comercial físico-químicas del Reino Unido requieren que todos los clientes proporcionen una descripción adecuada de los residuos y una muestra para su análisis antes de su aceptación en la instalación. Las instalaciones tienen que conocer la composición de los residuos para poder crear un producto final adecuado en la instalación, que pueda cumplir con los estándares de descarga a las alcantarillas y producir unos desechos aptos para el vertedero.

Bibliografía

[16, ÖWAV Working Committee, 2002], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [131, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.1.1.3 Procedimientos de aceptación cuando los residuos llegan a las instalaciones de TR

Descripción

Las pruebas de verificación y de cumplimiento se tienen que llevar a cabo para confirmar: 1) la identidad de los residuos, 2) la descripción de los residuos y 3) la concordancia con la información de preaceptación y con el método de tratamiento propuesto. En la lista siguiente se mencionan algunas técnicas y procedimientos de aceptación (tras la preaceptación) aplicados para evaluar los residuos:

- a. no aceptar residuos en las instalaciones a menos que se haya determinado claramente una ruta de valorización o eliminación y un método de tratamiento, junto con la comprobación de que hay suficiente espacio en las instalaciones, antes de aceptar los residuos. Aparte de productos químicos puros y residuos de laboratorio, no se aceptarán residuos en las instalaciones sin tomar antes muestras y realizar verificaciones y comprobaciones. La confianza sólo en la información escrita facilitada no es aceptable y se requiere una confirmación analítica y una verificación física;
- b. implantar procedimientos de muestreo (véase el apartado 4.1.1.4);
- c. para el tratamiento de residuos o su transferencia, llevar a cabo la mayor parte del trabajo de caracterización en la fase de preaceptación. Con esto se garantiza que los procedimientos de aceptación realizados cuando los residuos llegan a las instalaciones sirven para confirmar las características de los residuos;
- d. poner en práctica medidas para documentar íntegramente y tratar los residuos aceptables que lleguen a la instalación, como un sistema de prereserva, para garantizar, por ejemplo, que hay suficiente capacidad disponible;
- e. exigir requisitos como que los residuos vengan acompañados por una información en la que se describa la composición física y química, características peligrosas, la presencia de sustancias incompatibles y cualquier precaución de manipulación. Los residuos peligrosos tienen que acompañarse además de notas de envío, en las que se debe especificar el productor original de los residuos;

- f. tener criterios claros y concisos para el rechazo de residuos e informar de todos los incumplimientos;
- g. utilizar un laboratorio con métodos de pruebas adecuadamente acreditados para realizar los análisis;
- h. comprobar los detalles del código de los residuos de acuerdo con la lista europea de residuos (LER);
- i. utilizar un procedimiento de evaluación de riesgos para seleccionar y, si es necesario, llevar a cabo análisis de los residuos. Se muestra un ejemplo en el apartado de instalaciones de ejemplo.

Otros aspectos que pueden tratarse en el procedimiento de aceptación son:

- tiempo de espera de los vehículos, inspección de la carga, muestreo y zonas de descarga,
- control del tráfico,
- procedimientos para comprobar los documentos que llegan con la carga,
- procedimientos para la descarga, para permitir la inspección y el muestreo,
- ubicación del (de los) punto(s) de muestreo designado(s),
- inspección visual y organoléptica de la carga (en el caso de algunos líquidos y residuos peligrosos, esto puede no aplicarse),
- procedimientos de etiquetado de tambores y embalajes,
- infraestructura, como muros de contención y zonas de muestreo,
- evaluación de la concordancia con la información de preaceptación y con el método de tratamiento propuestos,
- sistemas de retención de muestras, en relación con el período de retención más adecuado,
- guardado de registros en relación con los datos del productor de residuos, resultados de análisis y métodos de tratamiento,
- procedimientos para revisiones periódicas de la información de preaceptación,
- condiciones de envío.

Beneficios ambientales obtenidos

Esta segunda fase de aceptación comprende procedimientos para cuando los residuos llegan a la instalación, y sirve para confirmar las características de los residuos preaceptados, sin la presión temporal y el riesgo potencial de verificar unos residuos desde cero en la puerta de entrada. Con estas técnicas se evita la aceptación de residuos inadecuados, que de otra manera podrían conllevar reacciones adversas o emisiones incontroladas, por lo que estas técnicas garantizan que los residuos aceptados son adecuados para la actividad de TR. Además, minimizan el tiempo que el vehículo que entrega los residuos permanece esperando, evitando problemas debidos a accidentes o fugas, por ejemplo. Con este procedimiento se evita además que los residuos se rechacen y tengan que enviarse de vuelta por las autopistas públicas.

Efectos cruzados

Igual que en los procedimientos de preaceptación.

Datos operativos

Igual que en los procedimientos de preaceptación. En algunos casos, puede resultar difícil llevar a cabo un muestreo apropiado (por ejemplo, tambores con ropas o guantes usados y contaminados).

Aplicabilidad

A continuación se describen algunos ejemplos de aplicabilidad industrial:

Instalaciones de tratamiento de aceites usados

Normalmente en estas instalaciones se pone un mayor énfasis en los procedimientos de aceptación finales que en los de la fase de preaceptación.

Aceptación de residuos de laboratorio

Los procedimientos de aceptación de residuos de laboratorio son en lo esencial idénticos a los de los residuos que vienen en tambores. Se diferencian de las entradas «normales» de residuos en la instalación en que vienen en una forma concentrada. En situaciones en las que el operario ha llevado a cabo la identificación y embalaje en nombre del cliente, la verificación in situ puede limitarse a la apertura de los tambores para verificar que los contenedores no tienen daños. En esos casos, la carga viene acompañada por una documentación que confirma el comprobación y embalaje. En las situaciones en las que el cliente ha embalado el tambor, el operador ha de realizar una comprobación y verificación completos. En dichas comprobaciones y verificación se habrá de incluir el vaciado del tambor tan pronto como sea posible (por ejemplo, en cosa de unos días), y el reembalado de los residuos una vez que se hayan realizado todas las comprobaciones necesarias. Si, al abrir un tambor, se descubre que contiene sustancias incompatibles, o que las sustancias no se han embalado apropiadamente, el tambor se habrá de separar y volver a embalar inmediatamente, y se deberán seguir los procedimientos de no cumplimiento de la instalación.

Instalaciones de tratamiento físico-químico

En estas instalaciones se comprueban los residuos cuando llegan, por medio de una inspección visual y un muestreo. El sistema de muestreo varía según la amplitud del análisis y la frecuencia de muestreo. Puede tratarse de un simple examen del punto de inflamación o del pH o de una muestra tomada para una rápida determinación del laboratorio de esos elementos y del contenido en metales, además de un examen orgánico aproximado. La frecuencia del muestreo viene en parte determinada por el origen de los residuos: en la mayoría de los sitios, el muestreo y el análisis se centran en flujos fluctuantes excepcionales y reduce la frecuencia del muestreo en el caso de flujos de proceso que se aceptan regularmente.

	Porcentaje de las instalaciones donde se da esta práctica (%)
Instalaciones aisladas o sobre una base totalmente impermeable	77
Retorno del agua de lluvia (excepto de la administración, edificios, tejados) y del lavado de camiones cisterna a la instalación	77
Muestreo de flujos de residuos mayores, o una proporción fija	62
Tonelaje de entrada pesado	54
Sistemas parciales de reactores	38
Sistemas completos de reactores	15
Muestreo de todos los residuos	8

Nota: datos correspondientes al análisis de 13 instalaciones de tratamiento físico-químico diferentes

Tabla 4.5: Procedimientos de control identificados en instalaciones de tratamiento físico-químico [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003]

En las instalaciones físico-químicas se somete a pruebas una proporción de los flujos de residuos de entrada, aunque siempre se realizan estas pruebas en el caso de nuevos flujos de residuos, y han de conocer una cantidad razonable de los residuos de entrada para efectuar su proceso de una manera efectiva. En las instalaciones se requiere que se lleven a cabo exámenes previos antes de aceptar residuos en la instalación, y, además, emprender rutinas de comprobación cuando los residuos llegan realmente.

Catalizador de residuos

Los materiales se comprueban en busca de impurezas y contaminación imprevistas, así que mantener un producto limpio y reducir las emisiones puede ser costoso.

Carbón activo residual

El carbón activo recibido para tareas de regeneración ha de ser identificado como un lote diferenciado y analizado, para que se conozcan las sustancias que se han de desorber durante el tratamiento y para que pueda confirmarse que la instalación tiene capacidad para procesarlas dentro de las exigencias de la autorización. El solicitante debe establecer claramente los tipos de contaminantes en el carbón activo que se pretender regenerar.

Factores económicos

Los costes de la caracterización y análisis de los residuos para proteger a los trabajadores son normalmente altos. Puede costar hasta 3000 EUR (2000 GBP) por análisis de un equipo, imitando el efecto de unos residuos en los trabajos de tratamiento de aguas residuales.

Motivo principal para su aplicación

Estos análisis están regulados normalmente por la legislación nacional y los permisos. La legislación sobre residuos peligrosos, por ejemplo, garantiza que el almacenamiento, manipulación, clasificación, embalaje y etiquetado de los residuos se efectúa correctamente.

Instalaciones de ejemplo

Aplicados en todo el sector de TR. Un ejemplo de la utilización de un procedimiento de evaluación de riesgos para seleccionar y, si es necesario, llevar a cabo análisis de los residuos puede ser el primer caso: los residuos con una clasificación de riesgo alto siempre se analizan a su entrega; segundo caso: los residuos con una clasificación de riesgo bajo se examinan ocasionalmente, para ver la conformidad con los datos de la fase de preceptación

Bibliografía

[29, UK Environment Agency, 1996], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [116, Irish EPA, 2003], [125, Ruiz, 2002], [131, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.1.1.4 Muestreo

Descripción

El muestreo se basa normalmente en un enfoque del riesgo teniendo en cuenta la peligrosidad de los residuos así como los conocimientos sobre el propietario anterior de los residuos. En un buen procedimiento de muestreo se tienen en consideración los aspectos siguientes:

- a. el estado físico de los residuos (homogeneidad/heterogeneidad);
- b. el número de muestras y el tamaño de éstas en el caso de materiales residuales no entregados en contenedores;
- c. el número de muestras y el tamaño de éstas en el caso de materiales residuales entregados en contenedores;
- d. los procedimientos de muestreo para todos los residuos entrantes, incluyendo residuos a granel (líquidos y sólidos) y residuos que vengan en tambores y contenedores, además de residuos de laboratorio. El número de muestras recogidas aumentará según el número de contenedores. En situaciones extremas, se habrán de comprobar todos los contenedores pequeños con relación a los documentos acompañantes. El procedimiento comprenderá un sistema para registrar el número de muestras y el grado de consolidación;
- e. tener un sistema para garantizar que las muestras de los residuos se analizan;
- f. detalles del muestreo de residuos en tambores dentro del almacenamiento designado, por ejemplo, la escala de tiempo tras su recepción;
- g. pruebas de verificación y cumplimiento para confirmar la identidad y la descripción de los residuos;
- h. mantenimiento en las instalaciones de un registro del régimen de muestreo para cada carga, junto con la justificación de la selección de cada opción;
- i. muestreo de los residuos de camiones cisterna antes de su aceptación. De esta manera no hay muestreos pendientes de materiales almacenados;

- j. retener muestras en la instalación durante un cierto período de tiempo (por ejemplo, 0,5 - 2 meses) después de que los residuos se hayan tratado o hayan abandonado la instalación, incluyendo todos los residuos a partir de su tratamiento;
- k. muestras tomadas o informes de análisis realizados externamente, es decir, el conductor del vehículo que lleva los residuos debe llegar a las instalaciones con una muestra o con un análisis realizado en alguna etapa de antemano. Esto normalmente es una excepción y sólo se considera si:
 - existen consideraciones de control ambiental y de seguridad, por ejemplo, sustancias reactivas al agua que harían el muestreo difícil;
 - se ha proporcionado la siguiente información escrita: la composición física y química, características de riesgo, la presencia de sustancias incompatibles y cualquier precaución de manipulación y la información en la que se especifique el productor de residuos y el proceso original;
 - los residuos se han tomado directamente del lugar de producción a las instalaciones de tratamiento de residuos;
 - el personal de muestreo puede proporcionar alguna prueba de su correcta cualificación o formación.

Para el muestreo de residuos líquidos a granel, algunos aspectos específicos que se han de destacar son:

- l. las entregas en camiones cisterna deben ir acompañadas de un certificado de lavado previo o una declaración de la carga anterior, para que se pueda comprobar la contaminación por esta vía;
- m. las muestras se toman normalmente de uno de estos tres puntos del camión:
 - trampilla superior
 - válvula trasera
 - visor de cristal;
- n. el requisito clave es obtener una muestra que sea representativa de la carga, esto es, en la muestra se deben reflejar todas las variaciones y cualquier partición dentro de la carga del camión, para que se puedan prever los peores casos. Tomar una muestra a través de la trampilla superior de la superficie del líquido puede no ser representativo, pero puede ser útil para establecer si existe una capa de, por ejemplo, disolvente o de otra sustancia inmisible, que puede no ser apta para el tratamiento. Las mejores muestras se han de obtener del apartado central de la carga, es decir, se ha de tomar una muestra del núcleo;
- o. se pueden construir estructuras de soporte para evitar la necesidad de tomar muestras de la válvula trasera de los camiones cisterna, lo que probablemente tendrá como resultado pequeños vertidos.

Para el muestreo de residuos en tambores (dependiendo del tipo de embalaje), algunos aspectos específicos que se han de tener en cuenta son:

- p. el contenido sólo se puede identificar con certeza si se toma una muestra de cada contenedor. La aceptación, por lo tanto, implica el muestreo de todos los contenedores, el análisis de muestras de compuestos es normalmente aceptable con un régimen de muestreo así. De esta manera, se obtiene una muestra representativa tomando una muestra del núcleo, a partir de la base del contenedor;
- q. garantizar que las tapas, taponos y válvulas se reemplacen inmediatamente tras el muestreo;
- r. se han de definir controles visuales de cada contenedor en el procedimiento de muestreo, bajo la supervisión del operario;
- s. utilizando la apertura, control visual y muestreo adaptado de todos los tambores por encima de una cierta capacidad, por ejemplo, de más de 200 litros;
- t. realizar el muestreo de residuos embalados en zonas cerradas mantenidas en depresión o dentro de cámaras especializadas con campanas extractoras en caso de que los residuos contengan materiales fugitivos.

Por ejemplo, para la digestión de lodos, el muestreo se lleva a cabo para garantizar que los lotes no son ni tóxicos ni inhibidores de la digestión. Además, generalmente para todos los tipos de muestreo de residuos, el procedimiento de muestreo debe garantizar que se lleva a cabo un muestreo y análisis adecuado de los residuos para su caracterización. El número de las muestras tomadas está basado en una evaluación de los riesgos de problemas potenciales. Los regímenes de muestreo en la etapa de preaceptación no tienen por qué incluir necesariamente el muestreo de cada tambor, por ejemplo, se puede aplicar la regla de «la raíz cuadrada de $(n+1)$ » siempre que el examen de aceptación comprenda el muestreo de cada contenedor. En algunos casos, el muestreo físico puede no resultar necesario, por ejemplo en el caso de cilindros de gas o de baterías usadas. En otros casos, como para los residuos en tambores, será necesario un gran número de muestras, ya que la caracterización requiere el muestreo de todos los contenedores. En el muestreo de los residuos del proceso se debe tener en cuenta la variabilidad del proceso, y pueden requerirse muchas muestras para caracterizar los residuos de una manera suficiente. El productor de residuos debe garantizar que la muestra es representativa de los residuos, que es fiable y que la obtuvo una persona con una noción técnica del proceso de muestreo, incluyendo la información siguiente:

- ubicación del punto de muestreo, por ejemplo, depósito del efluente;
- capacidad del recipiente del que se ha tomado la muestra (para muestras de tambores, un parámetro adicional será el número total de tambores);
- método de muestreo, por ejemplo, grifo de muestras (flujo medio), muestra de la parte superior;
- número de muestras y grado de consolidación;
- condiciones operativas en el momento del muestreo, por ejemplo, operación normal, pausa operativa, mantenimiento o limpieza.

Además, el productor de residuos puede garantizar que la muestra es representativa de las formas siguientes:

- etiquetando de manera clara las muestras y todo riesgo identificado,
- incluyendo sistemas para permitir el seguimiento de muestras y la posibilidad de realizar inspecciones dentro de las instalaciones.

Beneficios ambientales obtenidos

El muestreo es un aspecto clave en la elaboración de buenos conocimientos sobre los residuos que se han de tratar, evitando así problemas durante el tratamiento. Algunas técnicas también evitan las emisiones fugitivas (por ejemplo, causantes de olor) durante el muestreo.

Datos operativos

Es necesario un equipamiento de laboratorio específico para llevar a cabo el muestreo.

Aplicabilidad

A todos los tipos de residuos se les puede aplicar algún tipo de muestreo.

Motivo principal para su aplicación

Hay disponible una serie de borradores centrados en los estándares europeos de muestreo, por ejemplo, «muestreo de materiales líquidos y granulares, incluyendo materiales pastosos», preparado por el comité técnico CEN/TC 292 - Caracterización de los residuos. El CEN/TC 343 también ha preparado una especificación técnica sobre el muestreo de combustibles sólidos recuperados.

Otros estándares consolidados en el ámbito internacional son, por ejemplo, el ISO 10381 (muestreo del suelo) y el ISO 5667 (muestreo de aguas residuales, lodos y sedimentos). Estos estándares incluyen especificaciones técnicas relativas a la manipulación y conservación de muestras.

Instalaciones de ejemplo

En todas las instalaciones de residuos se lleva a cabo algún tipo de muestreo.

Bibliografía

[16, ÖWAV Working Committee, 2002], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [116, Irish EPA, 2003], [122, Eucopro, 2003], [131, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.1.1.5 Instalaciones de recepción

Descripción

Normalmente, hay una zona de recepción para los residuos de entrada, donde se realizan comprobaciones visuales cotejando con la nota de envío de residuos especiales y donde se realizan más muestreos antes de que se asignen los residuos. En las instalaciones se tiende a realizar muestreos de flujos de residuos específicos. Algunas buenas prácticas ambientales aplicadas a las instalaciones de recepción son:

- a. tener un laboratorio acreditado en la instalación para analizar las muestras de residuos para su preaceptación y aceptación. Este requisito se puede satisfacer garantizando que el laboratorio lleve a cabo los análisis según un sólido sistema de garantía de la calidad, métodos de control de la calidad y mantenimiento adecuado de los registros de los análisis;
- b. equipar los laboratorios con el equipamiento de control y los dispositivos necesarios para la garantía de la calidad. La autorregulación normalmente no está reconocida oficialmente;
- c. tener una zona especializada para la cuarentena de los residuos, para que si la inspección o análisis indica que los residuos no cumplen los criterios de aceptación (incluyendo, por ejemplo, tambores dañados, corroídos o sin etiquetar), entonces los residuos se puedan almacenar temporalmente de una manera segura. Ese almacenamiento no podrá durar más de cinco días laborables. En caso de que haya una temperatura también fría, este tiempo de almacenamiento se podrá sobrepasar para permitir el muestreo tras el descongelado. Tras la aceptación, los residuos pueden trasladarse a otra zona de almacenamiento (para residuos a granel, se trata normalmente de una zona específica). Para tratar con residuos mantenidos en cuarentena se ha de disponer de procedimientos escritos, así como para detallar y supervisar el volumen de almacenamiento máximo. Se han de aplicar procedimientos escritos para el reembalaje de los residuos antes de devolverlos al propietario, así como para los procedimientos de embalaje;
- d. marcar en un plano de la instalación las zonas de inspección, descarga y muestreo y tener un sistema apropiadamente estanco de drenaje. Tener un sistema de recolección separado para los vertidos, aparte de los sumideros del agua de lluvia, y tener una zona subterránea estanca que esté protegida de una manera segura frente a los residuos que se hayan de tratar (en relación con las técnicas del apartado 4.8.2);
- e. descargar residuos en contenedores en una zona de recepción especializada mientras se realiza el muestreo de aceptación. Este almacenamiento no durará más de una semana. Durante ese tiempo, no se podrán mezclar los tambores ni trasvasar los contenidos a la zona de almacenamiento a granel. Los residuos se deben separar en esta zona de recepción según su compatibilidad, siendo esta separación inmediata tras la descarga;
- f. evaluar inmediatamente los residuos depositados dentro de la zona de recepción;
- g. separar inmediatamente los residuos, para eliminar posibles riesgos debidos a incompatibilidad, lo que puede tener como consecuencia que los residuos no cumplan los criterios de aceptación;
- h. tener un (unos) punto(s) designado(s) de muestreo en la zona de recepción. Éstos han de estar cerca de las instalaciones de comprobación o del laboratorio, y tienen que ser visibles;
- i. garantizar que la descarga y las zonas de cuarentena y de recepción o muestreo disponen de una superficie impermeable con un drenaje autónomo, para evitar que cualquier vertido llegue a los sistemas de almacenamiento o salga de la instalación;
- j. garantizar que las sustancias incompatibles no entran en contacto con los vertidos de los muestreos, por ejemplo, con un pozo séptico dedicado sólo al punto de muestreo. Se han de tener absorbentes disponibles para poder reaccionar ante cualquier vertido;

- k. garantizar que el personal de las instalaciones implicado en los procedimientos de muestreo, comprobación y análisis gozan de la cualificación y formación adecuadas, y que esta formación se actualiza de manera regular;
- l. una vez que por el análisis se ha confirmado que los residuos son aceptables, crear un lote para su tratamiento o una carga para la eliminación fuera de la instalación. Una vez que se ha recopilado un lote para su tratamiento, el operario puede crear una muestra del compuesto para su análisis antes del tratamiento. El alcance real del análisis depende del tratamiento que se pretende realizar pero se ha de identificar siempre;
- m. garantizar que en cada paso de la recepción de los residuos en la instalación de TR (procedimientos de preaceptación, procedimientos de aceptación, instalaciones de recepción), el personal que tome y manipule las muestras tiene los conocimientos y experiencia necesarios;
- n. tener una zona de almacenamiento designada en las instalaciones, apropiada para los residuos recibidos;
- o. tener un procedimiento claro para tratar con los residuos si las inspecciones o análisis demuestran que no cumplen con los criterios de aceptación de la instalación o que no concuerdan con la descripción de los residuos recibida durante el procedimiento de preaceptación. En este procedimiento se incluirán todas las medidas requeridas (por ejemplo, por la legislación del permiso o la legislación nacional/internacional) para informar a las autoridades competentes, para almacenar la entrega de una manera segura durante el período de transición o para rechazar los residuos y mandarlos de vuelta al productor de residuos o a cualquier otro destino autorizado.

Algunas técnicas específicas aplicadas a la llegada de cargas son:

- p. pesar todas las cargas entrantes, a menos que haya disponibles otros sistemas volumétricos fiables vinculados a datos de gravedad específicos;
- q. no aceptar ninguna carga en la instalación a menos que haya suficiente capacidad de carga;
- r. garantizar que todos los documentos se comprueban y se aprueban, y que todas las discrepancias se resuelven antes de la aceptación de los residuos;
- s. inspeccionar visualmente la carga; si es posible, se han de realizar comprobaciones visuales antes de la descarga. En cualquier caso, las inspecciones se han de realizar inmediatamente a la llegada de la carga a las instalaciones;
- t. comprobar todos los contenedores para confirmar las cantidades respecto de los documentos acompañantes. Todos los contenedores han de estar etiquetados claramente y tienen que estar equipados con tapones, tapas y válvulas apropiados, seguros y en su sitio. Los contenedores que no cumplan con las especificaciones se han de rechazar. Tras la inspección, los residuos se han de descargar en una zona de muestreo o recepción especializada;
- u. aplicar un sistema de seguimiento de los residuos desde el punto de aceptación hasta el primer paso de tratamiento que cambie la condición física o química de los residuos, por ejemplo, a través de un sistema de identificación (por ejemplo, etiqueta, código) para cualquier contenedor o tambor almacenado en la instalación. La información podrá contener todos los datos necesarios relacionados con la salud y seguridad, posterior tratamiento, código de residuos, productor original, fecha de llegada a las instalaciones, etc.;
- v. si los contenedores son a granel, pasar del contenedor original al recipiente para graneles en la fecha más temprana de llegada de los residuos a granel.

Beneficios ambientales obtenidos

Identifica la fuente, composición y peligrosidad de los residuos. Evita que se acepten residuos sin información escrita.

La mayoría de los vertidos y fugas durante el muestreo sólo ocurren a pequeña escala, por ejemplo, resultantes de escapes de la válvula trasera de un camión cisterna si la muestra se obtiene de esta manera.

Datos operativos

Se necesita un laboratorio para analizar químicamente las muestras. En relación con la técnica a (véase la descripción más arriba), algunas muestras no se toman para su inmediato control y análisis. Algunas muestras, por ejemplo, se guardan por si las autoridades requieren más controles posteriormente.

Aplicabilidad

Totalmente aplicable en todas las instalaciones, aunque en algunas situaciones (por ejemplo, instalaciones de tratamiento de residuos no peligrosos) puede no resultar practicable o económico tener el laboratorio en la instalación.

Factores económicos

Las instalaciones de recepción para tareas de tratamiento de aguas residuales, por ejemplo, descarga de camiones cisterna y almacenamiento, pueden costar alrededor de 1,5 millones de EUR (1 millón de GBP). Los costes operativos son relativamente bajos e implican principalmente gastos administrativos.

Técnicas	Coste instalación (GBP)	Coste operativo (GBP)
Laboratorio de analítica ^{1,2}	40.000	20.000
Equipamiento de supervisión continua ²	10.000	1000
<i>Especificaciones técnicas</i>		
Capacidad	10.000 toneladas/año	
Tipos de aceite	aceites lubricantes usados	
Proceso operativo	lote	
Flujo de gas residual	0 - 50 Nm ³ /hora	
Antigüedad de la instalación	10 años	
Antigüedad del equipamiento de control de la contaminación	2 años	
Notas:		
1. Se asume que no se requiere ningún nuevo edificio y un equipamiento de laboratorio relativamente simple. En el personal se incluye a un técnico a tiempo completo.		
2. Los costes del equipamiento de monitorización continua varían enormemente según el número de sustancias supervisadas, técnicas analíticas utilizadas y proveedor elegido.		

Tabla 4.6: Factores económicos de equipamiento de laboratorio y de supervisión en unas instalaciones de tratamiento de aceites residuales [42, R.U., 1995], [150, GTT, 2004]

Motivo principal para su aplicación

En todas las instalaciones de TR es necesario algún tipo de instalaciones de recepción de los residuos que se han de tratar. En algunos países no es necesario tener una zona de almacenamiento en cuarentena, y no se requiere legalmente tener un laboratorio acreditado externamente.

Instalaciones de ejemplo

Todas las instalaciones de TR tienen algún tipo de instalaciones de recepción. Muchas instalaciones disponen de un sistema de prereserva para los residuos, teniendo entonces en la zona de recepción una lista de los contenidos de cada carga esperada para un día determinado. En algunas instalaciones tienen una zonas de recepción cubierta y con muros de contención, en otras disponen de este tipo de zonas especializadas para cada grupo de residuos. La cromatografía por gas y la espectroscopia de masa se pueden utilizar para identificar los componentes de los disolventes y aceites usados, pero su uso requiere una interpretación experta y los costes son altos.

Dependiendo de los residuos entregados, la zona de recepción puede estar equipada con instalaciones técnicas para luchar contra incendios, ya que algunos residuos tienden a la autocombustión, especialmente los residuos con un alto contenido orgánico. La degradación biológica puede causar altas temperaturas y, en algunos casos, esto puede provocar un incendio.

Además, los residuos desechados pueden contener todavía pavesas, por ejemplo, carbón sin quemar completamente.

La zona de recepción está normalmente cubierta y las puertas están a veces cerradas a causa del olor, el polvo y las emisiones de ruido. La zona de recepción tiene una instalación de ventilación que recoge el aire de escape. Para evitar la fuga de aire del interior, algunas instalaciones están equipadas con un sistema de ventilación que crea una presión negativa en la zona de recepción.

Bibliografía

[29, UK Environment Agency, 1996], [55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [119, Watco, 2002], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [126, Pretz, et al., 2003], [131, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.1.2 Sistemas de gestión

Este apartado abarca las técnicas de gestión aplicadas normalmente a las instalaciones de tratamiento de residuos en conjunto.

4.1.2.1 Técnicas para determinar el tipo de tratamiento aplicado a cada residuo

Descripción

Una vez se han establecido la composición y las características (por ejemplo, el contenido en compuestos peligrosos) de los residuos, y se ha confirmado que los residuos son tal y como están descritos en la zona de entrega/recepción (procedimiento de aceptación), se ha de determinar una opción o un método de tratamiento para los residuos. Existen tres principios fundamentales para seleccionar el tratamiento de residuos apropiado para unos residuos específicos: 1) caracterizar adecuadamente los residuos, 2) garantizar que los residuos son aptos para la actividad de tratamiento propuesta y 3) garantizar el control operativo del proceso de tratamiento, incluyendo la supervisión de las entradas y de las reacciones, y tener objetivos finales claro. Entre algunas de las técnicas aplicables para lograr esos objetivos podemos citar las siguientes:

- a. describir y considerar las actividades de las instalaciones y las técnicas propuestas para evitar y reducir la producción de residuos, las emisiones de sustancias y de calor (incluyendo durante los períodos de arranque o de paralización, pausas momentáneas, fugas o fallos en el funcionamiento);
- b. identificar los tipos de residuos objeto de cada proceso, incluyendo todos los contaminantes;
- c. identificar la química del proceso y el destino final de todos los componentes de los residuos y de cualquier producto reactivo;
- d. identificar las opciones adecuadas para la valorización o reducción de la contaminación, en especial para los componentes que pueden ser dañinos para el medio ambiente y que no se destruyen en el tratamiento, sino que pasan de un medio a otro. Esto puede implicar el seguimiento de esas sustancias capaces de contaminar y que pueden liberarse sin modificar tras el proceso de tratamiento;
- e. identificar un método de tratamiento apropiado para cada nuevo estudio de residuos;
- f. asegurarse de que en la alimentación del proceso no se incluyen sustancias como disolventes que se pueden recuperar en una etapa posterior a través de, por ejemplo, el secado y posterior destilación hasta componentes separados;
- g. tener una metodología clara para evaluar el tratamiento de residuos, considerando las propiedades físico-químicas de los residuos particulares y las especificaciones de los residuos tratados;

- h. informar si hay algún consejo sobre el tratamiento de residuos preferible (por ejemplo, en relación con la jerarquía del tratamiento de residuos) de acuerdo con el tipo de residuos que se han de tratar (por ejemplo LER).

Beneficios ambientales obtenidos

La selección de un tratamiento adecuado para unos residuos concretos es de vital importancia para garantizar que las emisiones al medio ambiente se reducen y que los residuos se han tratado apropiadamente.

Datos operativos

Frecuentemente, se deben utilizar varios procedimientos para el correcto tratamiento de los residuos. El procedimiento seguido, o más bien la combinación de procedimientos (tipos de procedimientos, secuencia de su aplicación, controles aplicados, etc.) se especificará a través de un procedimiento de coordinación de la compañía o de las instalaciones. En un procedimiento así, los resultados del laboratorio basados en la composición de los residuos y en su comportamiento reactivo tienen impacto en el tipo de tratamiento de residuos que se habrá de elegir.

Motivo principal para su aplicación

La selección de un tratamiento no se realiza sólo en función del tipo de residuos, sino que también hay otros aspectos que es importante considerar, como las circunstancias locales (por ejemplo, estrategia sobre residuos), consideraciones logísticas o qué tipo de tratamientos están disponibles en la región.

Instalaciones de ejemplo

Técnica aplicada en todas las instalaciones de TR.

Bibliografía

[53, LaGrega, et al., 1994], [55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [131, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.1.2.2 Suministro de residuos garantizado

Descripción

Los residuos se pueden considerar como la materia «prima» utilizada por las instalaciones de TR. En algunos casos los residuos se pueden tratar como un reactivo para tratar otros residuos. En cualquier caso, es importante contar con la garantía de que los residuos o materiales necesarios para el rendimiento adecuado y continuado de las instalaciones estarán disponibles en el momento preciso.

Beneficios ambientales obtenidos

Si los residuos se han de utilizar como un reactivo en un proceso de tratamiento, no tener dichos residuos disponibles puede retrasar el proceso de tratamiento para el tipo de residuos que se ha de tratar. Este retraso puede conllevar problemas ambientales asociados.

Aplicabilidad

Por ejemplo, la garantía de un rendimiento a largo plazo de los sistemas anaerobios es un aspecto clave con relación a su factibilidad económica (véase el apartado 4.2.4)

Instalaciones de ejemplo

El área principal de preocupación en la digestión anaerobia es la garantía del rendimiento a largo plazo de una instalación que resulta clave para su viabilidad económica. Los riesgos se pueden reducir a través de desarrollos tecnológicos, pero los costes asociados pueden afectar a los factores económicos a corto plazo. Otro ejemplo es la garantía de tener un suficiente suministro de residuos básicos disponible en las instalaciones fisico-químicas, para neutralizar los materiales ácidos en el caso de que éstos se utilicen en los procesos de neutralización.

El almacén o el equipamiento para alimentar el proceso deben permitir una alimentación constante para disminuir las sobrecargas de las máquinas.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [126, Pretz, et al., 2003]

4.1.2.3 Técnicas para aumentar las posibilidades de trazabilidad de los residuos

Descripción

Cualquier sistema de seguimiento o de trazabilidad que se adopte ha de ser capaz de informar sobre todo lo siguiente:

- cantidad total de residuos presentes en la instalación en cualquier momento, en unidades apropiadas, por ejemplo, equivalentes a tambores de 205 litros;
- desglose de las cantidades de residuos almacenadas y pendientes de tratamiento en la instalación, clasificadas por ruta de tratamiento;
- desglose de las cantidades de residuos que están en la instalación sólo para su almacenamiento, esto es, esperando una posterior transferencia;
- desglose de las cantidades de residuos según su clasificación de riesgo;
- indicar dónde están ubicados los residuos en un plano de la instalación;
- comparar la cantidad que hay en la instalación respecto del total permitido;
- comparar el tiempo que los residuos llevan en la instalación respecto del máximo permitido.

Algunas técnicas que se pueden aplicar para aumentar las posibilidades de trazabilidad de los residuos en unas instalaciones de tratamiento de los residuos son:

- a. registrar y referenciar la información sobre las características de los residuos y la fuente del flujo de los residuos, para que esté disponible en cualquier momento. Se ha de proporcionar un número de referencia a los residuos, que estará disponible siempre para cualquier operario, para identificar dónde se encuentran residuos específicos dentro de las instalaciones, el tiempo que llevan en el lugar y la ruta de tratamiento propuesta o real. Éste es un componente importante dentro de la gestión de las instalaciones;
- b. revisar y mantener actualizada regularmente la información sobre los flujos de residuos, esto es, actualizando la información con cualquier cambio;
- c. poner en práctica un sistema de seguimiento interno y un procedimiento de control de las existencias para todos los residuos, con referencias cruzadas respecto del número de referencia único asignado en la fase de preaceptación (véase el apartado 4.1.1.2);
- d. aplicar un sistema de seguimiento para guardar toda la información generada durante la preaceptación, aceptación, almacenamiento, tratamiento o eliminación fuera de la instalación. Los registros se podrán realizar y actualizar de manera continua para reflejar las entregas, el tratamiento en la instalación y los envíos. A esta documentación del sistema de seguimiento se habrá de añadir la documentación proporcionada por el conductor, los resultados escritos de los análisis de aceptación y los detalles de los puntos de descarga o de las ubicaciones para transferencia fuera de la instalación. Todos los registros relacionados con la preaceptación se habrán de guardar en las instalaciones para su referencia cruzada y verificación en la fase de aceptación de los residuos. Los registros, normalmente, se han de guardar durante dos a seis meses después de que los residuos se hayan tratado o enviado fuera de la instalación;
- e. dar a cada flujo de residuos un número de referencia único y efectuar el seguimiento de los residuos durante su aceptación, almacenamiento, tratamiento y traslado fuera de la instalación. Si los residuos aparecen de manera regular, entonces el documento deberá ser único para ese lote de residuos;
- f. tener sistemas de documentación o una base (o varias) de datos informática, de los que se haga regularmente copias de seguridad. El sistema de seguimiento actúa como un sistema

de control del inventario/existencias de residuos y comprende: fecha de llegada a las instalaciones, datos del productor de residuos, datos de todos los propietarios anteriores, un identificador único, resultados de los análisis de preaceptación y aceptación, tipo de embalaje y tamaño, ruta de tratamiento o eliminación pretendida, un registro preciso de la naturaleza y cantidad de residuos presente en la instalación, incluyendo todos los riesgos, dónde están los residuos ubicados físicamente con respecto a un plano de la instalación, en qué punto de la ruta de eliminación están los residuos en ese momento, etc.;

- g. llevar la cuenta del método de ruta de eliminación o de tratamiento del que será objeto un tipo particular de residuos;
- h. mantener registros para garantizar que hay un conocimiento suficiente disponible sobre qué residuos van en un depósito o recipiente en particular. Por ejemplo, una vez que los residuos han llegado a la zona de almacenamiento a granel o han entrado en un proceso de tratamiento, el seguimiento de los residuos individuales no será factible. No obstante, el seguimiento de los residuos o compuestos que irán dentro de un recipiente entre procesos de deslodado se puede llevar a cabo para evitar cualquier incompatibilidad con residuos entrantes;
- i. en el caso de residuos líquidos a granel, mantener un registro de control de las existencias a través de la ruta de proceso, mientras que el control de los residuos en tambores necesitan de un etiquetado individual de cada tambor para registrar la ubicación y duración del almacenamiento;
- j. disponer de un sistema de etiquetado y embalaje de buena calidad, para los contenedores de entrada.

Beneficios ambientales obtenidos

El sistema proporciona pruebas documentales del tratamiento proporcionado a ciertos residuos, detallando cuándo entraron los residuos en la instalación, de dónde venían, con qué compuestos se mezclaron y almacenaron y hacia dónde y cuándo se enviaron. Estas técnicas permiten al operador de residuos:

- aprovecharse de cualquier sinergia entre residuos,
- evitar reacciones no deseadas o no esperadas,
- garantizar que las emisiones se evitan o reducen,
- gestionar la producción de residuos.

Efectos cruzados

No identificados.

Datos operativos

Normalmente se requieren bases de datos informáticas. La implantación de un sistema efectivo requiere también trabajo administrativo adicional. Los sistemas de trazabilidad tienen que plantear qué se ha de seguir exactamente y cuándo.

Aplicabilidad

Ampliamente aplicado en el sector del TR. En el caso de instalaciones de TR pequeñas, la adaptación de algunos sistemas de trazabilidad (por ejemplo, de formato papel a informático) puede ser difícil.

La aplicación de algunas de las técnicas mencionadas más arriba puede no resultar posible cuando las instalaciones funcionan de manera continua o semicontinua. Algunos ejemplos son cuando los líquidos residuales de diferentes lotes se ponen juntos en un depósito de almacenamiento, cuando residuos sólidos se ponen en la zona de almacenamiento a granel con otros residuos o cuando las propiedades físico-químicas de los residuos cambian. Los sistemas de trazabilidad para pequeñas cantidades o volúmenes son más difíciles de aplicar.

Motivo principal para su aplicación

Ayudar al operador a gestionar la instalación.

Las autoridades de residuos del productor de residuos solicitan a menudo que se informe de que los residuos se tratan según todas las normas técnicas y legislación relevante. Este sistema ayuda a efectuar el seguimiento de cuándo y cómo se ha llevado a cabo el seguimiento.

Instalaciones de ejemplo

Utilizado de manera común en instalaciones de TR. Muy importante para las instalaciones de transferencia de residuos.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.1.2.4 Mejora de la eficacia de los tratamientos de residuos

Descripción

La eficacia del tratamiento de residuos en este apartado se relaciona con la mejora de la utilidad de los materiales de salida, consumo de materias primas y análisis de los flujos de material. Las técnicas relacionadas con la eficacia energética se incluyen en el apartado 4.1.3.4. Algunas técnicas que se pueden aplicar para mejorar la eficacia del tratamiento de residuos son:

- a. proporcionar una evaluación de la eficacia del proceso de tratamiento en relación con los contaminantes, esto es, en términos de eliminación o partición de sustancias dentro del proceso, por ejemplo:
 - la precipitación de metales de la solución para su retirada en la torta de filtración;
 - el grado de transferencia entre los residuos de entrada y las emisiones (al aire, residuos sólidos a la tierra y efluente líquido al alcantarillado, por ejemplo pesticidas o disolventes);
 - la utilización de vapor caliente utilizado para precalentar aceite usado;
- b. analizar los parámetros de eficacia por medio de los siguientes pasos:
 - trazado del proceso, identificando las vías dentro del proceso para una o varias sustancias específicas;
 - balance de masa;
- c. analizar la variabilidad en efectos que la composición de residuos puede tener en el rendimiento de las unidades de TR;
- d. monitorización de la eficacia. La monitorización de la eficacia operativa puede llevarse a cabo a través de instrumentación, observación directa por parte del operario y análisis químico. Cualquier programa de monitorización implicará normalmente un mantenimiento extensivo de registros, utilizando una combinación de ordenadores, registros estadísticos, y registros en papel cumplimentados a mano;
- e. poner en práctica procedimientos para la separación de materiales residuales, y de tal manera que la reciclabilidad de los materiales separados no se vea afectada.

Algunas de estas técnicas forman parte a veces de la ISO 9000 y de la ISO 14001.

Beneficios ambientales obtenidos

En una instalación se deben monitorizar las operaciones con cuidado para garantizar que su rendimiento alcanza los resultados deseados. La optimización de las instalaciones de tratamiento de residuos ayuda a conseguir unas emisiones y consumos más bajos.

Datos operativos

Se ha reconocido que, para ser comercialmente viables, las instalaciones de tratamiento de residuos tienen que poder tratar con flujos de residuos variables, pero que no siempre es deseable o efectivo complicar en exceso el diseño y el funcionamiento de un proceso de tratamiento de residuos, intentando hacerle sitio a todos y cada uno de los componentes de un flujo de residuos variado. Por lo tanto, la monitorización de los residuos y la aplicación de una separación adecuada pueden ayudar a conseguir una eficacia mayor y un coste operativo menor.

Algunos tratamientos de residuos tienen que tratar con una gama de residuos amplia y variable. Esto requiere que la instalación y el equipamiento sean versátiles y utilizables para una serie de residuos. Esto contrasta con las técnicas de tratamiento utilizadas para el tratamiento interno en las instalaciones del productor de residuos, donde el número de flujos de residuos es limitado y bien caracterizado. Estas características de los tratamientos internos pueden llevar por sí mismas al desarrollo de técnicas de tratamiento para flujos individuales.

Aplicabilidad

Incluso cuando en la instalación se pesan todos los residuos de entrada y todos los productos y flujos de residuos de salida, no es siempre fácil llevar a cabo un balance de masa acertado en el sistema. Los balances de masa y análisis de flujo de materiales para cada fracción de material o ingrediente individual son difíciles y, a veces, sus resultados son cuestionables. La razón principal son las variaciones inherentes al residuos de entrada.

Algunos ejemplos de materiales reciclables en instalaciones FQ son principalmente aceite, grasa, disolvente orgánico, metal, sales metálicas.

Motivo principal para su aplicación

Normalmente acometidas indirectamente para reducir el coste operativo de las instalaciones o el coste de eliminación de los residuos.

Instalaciones de ejemplo

Hay todavía un gran número de instalaciones que no tienen una báscula de puente, o que no la utilizan para todas las cargas.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.1.2.5 Técnicas de gestión

Descripción

Algunas técnicas son:

- a. control operativo del proceso de tratamiento,
- b. disposición y mantenimiento de la infraestructura apropiada (buen mantenimiento interno),
- c. gestión de efluentes (desarrollada en el apartado 4.7.1),
- d. control de la instalación basado en análisis determinados por laboratorio, que también determinan programas de tratamiento, los controles y la documentación requeridos,
- e. hacer que las operaciones de la instalación se lleven a cabo exclusivamente por personal especializado y experto (por ejemplo, en lo referente a la gestión: con cualificación universitaria, un título relevante o una especialización profesional; en el ámbito operativo: trabajador especializado, auxiliar de laboratorio). Las cualificaciones del personal se pueden garantizar a través de una combinación de tiempo de estudios relevante, medidas de formación continua; con los conocimientos requeridos del personal técnico especialista bien definidos y controlados dentro del contexto de la certificación de la instalación. Relacionado con las técnicas descritas en el apartado 4.1.2.10;
- f. tener todas las estructuras periféricas requeridas para una empresa con un correcto funcionamiento. Esto comprende, por ejemplo, el cercado de la propiedad, señales que indiquen la ubicación del aparcamiento y de las instalaciones de almacenamiento, iluminación, balanzas, un taller, etc.

Beneficios ambientales obtenidos

Mejora general de la conciencia ambiental en las instalaciones.

Aplicabilidad

La formación regular es común en el sector del tratamiento de residuos

Bibliografía

[50, Scori, 2002], [55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004]

4.1.2.6 Identificación de economías de escala y sinergias**Descripción**

Cuando hay una serie de instalaciones distintas (en especial cuando hay diferentes operadores), existe la posibilidad de identificar algunos aspectos que atañen a todas las instalaciones y oportunidades para las interacciones entre las instalaciones, por lo que el rendimiento general de cada una de las instalaciones se puede ver mejorado. En particular, compartiendo o combinando información o actividades y fomentando la cooperación. Algunos ejemplos de lo anterior serían:

- a. mejorar los procedimientos de comunicación entre varios titulares de permisos, en particular de los que necesitan garantizar que el riesgo de incidentes ambientales está minimizado;
- b. utilizar las ventajas de los ahorros de escala para justificar la instalación de una instalación de cogeneración compartida (véanse las secciones de energía dentro del apartado 4.1.3);
- c. combinar los residuos combustibles para justificar unos residuos combinados dedicados a energía (véanse las secciones sobre energía del apartado 4.1.3);
- d. utilizar los residuos de una actividad posiblemente como alimentación para otra;
- e. utilizar el efluente tratado de una actividad, si es de una calidad adecuada, como el agua de materia prima para otra actividad;
- f. combinar efluentes para justificar una instalación de tratamiento de efluentes combinada o mejorada;
- g. evitar accidentes de una actividad que tendría repercusiones negativas en la actividad vecina;
- h. evitar la contaminación terrestre de una actividad que afecte a otra, o posibles problemas si un operador es el propietario de la tierra en el que otro está situado.

Beneficios ambientales obtenidos

Se pueden aumentar la eficacia energética, reducir la generación de residuos, el consumo de agua y las emisiones al agua del complejo general.

Efectos cruzados

Algunas de estas comunicaciones pueden resultar difíciles si están relacionadas con aspectos legales relativos a la concurrencia.

Aplicabilidad

Aplicable si hay sinergias identificadas y si se lleva a cabo más de una tarea.

Factores económicos

Normalmente hace que el coste general de los tratamientos de aguas disminuya.

Motivo principal para su aplicación

Normalmente hace que aumente la viabilidad económica de los tratamientos de aguas.

Instalaciones de ejemplo

En el sector existen muchos ejemplos.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003]

4.1.2.7 Provisión de datos completos sobre las actividades que se han de realizar

Descripción

La provisión de las descripciones adecuadas de los procesos de las actividades y del equipo de control y reducción de la contaminación es importante, para permitir al regulador obtener una buena comprensión del proceso aplicado. Entre los elementos que pueden ayudar a hacerse una buena idea de la instalación se pueden incluir:

- a. una descripción de los métodos y procedimientos de tratamiento de los residuos puestos en práctica en las instalaciones;
- b. proporcionar los diagramas de flujo de tuberías e instrumentación de las instalaciones (por ejemplo, R-/I-Fliesbilder);
- c. diagramas de los principales elementos de la instalación, con relevancia ambiental, y también diagramas de flujos de proceso (esquemáticos). Por ejemplo, diagramas del diseño de almacenamiento de la instalación, de los depósitos y de las instalaciones de tratamiento y reducción de la contaminación aunque por sí solos no serán suficiente para permitir una evaluación ambiental correcta;
- d. datos sobre reacciones químicas y sobre su balance energético/cinético de la reacción;
- e. un inventario del equipamiento, detallando el tipo de instalación y los parámetros del diseño, por ejemplo, puntos de inflamación;
- f. datos sobre los tipos de residuos que se someterán al proceso;
- g. una filosofía de sistema de control y cómo el sistema de control incorpora la información sobre supervisión ambiental;
- h. datos sobre las disposiciones relativas a los escapes y la ventilación de emergencia;
- i. procedimientos de funcionamiento y mantenimiento;
- j. datos sobre cómo se proporciona la protección durante condiciones operativas anormales, como pausas momentáneas, puestas en marcha y cortes de la actividad.

Además, en lo que respecta a la información, para los operarios es importante:

- k. tener acceso a todas las normativas necesarias relacionadas con la seguridad y orden operativos y una lista de las normas de trabajo antes de la operación inicial del plan;
- l. tener un manual de instrucciones. El manual de instrucciones contiene todas las medidas que se necesitan para garantizar una eliminación de los residuos correcta y segura durante operaciones normales de funcionamiento y de mantenimiento, así como durante irregularidades operativas. Todos los procesos se deben concordar con los planes de alarma y emergencia. En el manual de instrucciones se detallan además los deberes y responsabilidades del personal operativo, las instrucciones de trabajo, las disposiciones para el mantenimiento e inspecciones, así como los requisitos de informe, documentación y almacenamiento. Este manual se ha de actualizar cuando sea necesario y debe estar disponible antes del primer funcionamiento de la instalación;
- m. tener un diario operativo, para detallar las condiciones operativas y como prueba del correcto funcionamiento de la instalación. El diario operativo contendrá toda la información relevante relacionada con el funcionamiento del día a día en las instalaciones de gestión de residuos, y en particular:
 - registrará todos los residuos tratados en la instalación, y cualquier otro material que se recicle o elimine de alguna otra manera fuera de la instalación,
 - servirá de registro de los residuos aceptados,
 - servirá de registro de todos los materiales reciclados o eliminados de alguna otra manera fuera de la instalación,
 - proporcionará pruebas documentadas en caso de conflictos, por ejemplo, cuando la entrega del material residual no se corresponde con los datos contenidos en la documentación de preaceptación. En este caso, se detallarán en el diario las medidas tomadas;

- registrará incidentes especiales, y en particular los detalles de cualquier irregularidad operativa, incluyendo los detalles sobre las posibles causas y las medidas correctivas adoptadas;
 - registrará los tiempos de funcionamiento y de parada de la instalación,
 - registrará los resultados de investigaciones y de medidas de autocomprobación,
 - registrará la naturaleza y el alcance de todas las medidas de mantenimiento,
 - registrará los resultados de los controles de funcionamiento,
- n. mantener el diario operativo actualizado. Todas las declaraciones de apoyo adicionales requeridas por las autoridades correspondientes se habrán también de documentar en el diario operativo. En un sistema, el diario operativo implicaría la recolección de las hojas individuales cumplimentadas por personas de diferentes zonas. El diario operativo podría también gestionarse utilizando el proceso de datos electrónicos. En uno u otro formato, se habrá siempre de mantener bien guardado y protegido de accesos no autorizados.
- o. guardar el diario operativo durante un período de cinco años
- p. informar de cualquier incidente que lleve a una modificación significativa del funcionamiento normal inmediatamente a las autoridades apropiadas, en especial los que conlleven una paralización de la instalación
- q. preparar un estudio anual de las actividades llevadas a cabo y de los residuos tratados. En el estudio anual se puede incluir también un balance trimestral de los flujos de residuos y desechos, incluyendo los materiales auxiliares utilizados en cada instalación. El estudio anual se ha de enviar a las autoridades apropiadas en un plazo de tres meses al término del año.

Beneficios ambientales obtenidos

Ayuda a evaluar las propuestas de los operadores y en particular las oportunidades para mayores mejoras.

Efectos cruzados

No conocidos.

Datos operativos

Operación de gestión.

Aplicabilidad

Totalmente aplicable en todas las instalaciones de TR. No obstante, la técnica d (véase la descripción más arriba) a veces se considera como difícil de aplicar en algunas instalaciones debido a las mezclas complejas que presentan algunos residuos, así como, a la variabilidad en la composición de los residuos.

Motivo principal para su aplicación

Esto forma normalmente parte del permiso de funcionamiento.

Instalaciones de ejemplo

Técnica común

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [131, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.1.2.8 Herramientas de gestión ambiental

Descripción

Los mejores resultados ambientales los consiguen normalmente las instalaciones con mejor tecnología y que funcionan de la manera más efectiva y eficaz. Esto está respaldado por la definición de la Directiva IPCC de «técnicas» como «tanto la tecnología utilizada como la manera en la que las instalaciones están diseñadas, construidas, mantenidas, operadas y puestas fuera de servicio».

Para las instalaciones IPPC, un sistema de gestión ambiental (SGA) es una herramienta que los operadores pueden utilizar para tratar esos aspectos de diseño, construcción, mantenimiento, funcionamiento y puesta fuera de servicio de una manera demostrable y sistemática. En un SGA se incluyen la estructura organizativa, responsabilidades, prácticas, procedimientos, procesos y recursos para desarrollar, implantar, mantener, revisar y supervisar la política ambiental. Los sistemas de gestión ambiental son más efectivos y eficaces si son una parte inherente de la gestión y funcionamiento general de unas instalaciones.

Dentro de la Unión Europea, muchas organizaciones han decidido de manera voluntaria implantar sistemas de gestión ambiental basados en la EN ISO 14001:1996 o en el esquema EMAS de auditoría y ecogestión de la UE. En el EMAS se incluyen los requisitos en sistemas de gestión de la EN ISO 14001, pero se pone un énfasis adicional en el cumplimiento legal, el rendimiento ambiental y la implicación de los empleados; además requiere una verificación externa del sistema de gestión y la validación a través de una declaración ambiental pública (en la EN ISO 14001 la declaración propia es una alternativa a la declaración externa). Hay también muchas organizaciones que han decidido poner en práctica SGA no estándar.

Mientras que los dos sistemas estándar (EN ISO 14001:1996 y EMAS) y los sistemas no estándar («personalizados») toman en principio la *organización* de la entidad, en este documento se adopta un enfoque más preciso, sin incluir todas las actividades de la organización, por ejemplo, en relación con sus productos o servicios, debido al hecho de que la entidad regulada según la Directiva IPPC son las *instalaciones* (como se define en el artículo 2).

Un sistema de gestión ambiental (SGA) para unas instalaciones IPPC puede contener los componentes siguientes:

- definición de una política ambiental,
- planificación y establecimiento de objetivos y metas,
- implantación y funcionamiento de procedimientos,
- acciones de verificación y acciones correctivas,
- revisión de la gestión,
- preparación regular de una declaración ambiental,
- validación por un organismo de certificación o un verificador de SGA externo,
- consideraciones referentes al diseño para la puesta fuera de servicio al final de la vida útil de la instalación,
- desarrollo de tecnologías más limpias,
- establecimiento de puntos de referencia.

Estos elementos se explican con más detalle a continuación. Para una información detallada sobre los componentes de (a) a (g), que están todos incluidos en el EMAS, se ofrece al lector la bibliografía indicada más adelante.

a. definición de una política ambiental

La gerencia es la responsable de la definición de una política ambiental para las instalaciones y de garantizar que:

- es adecuada para la naturaleza, escala e impactos ambientales de las actividades,
- incluye un compromiso para la prevención y control de la contaminación,
- incluye un compromiso para cumplir con toda la legislación y normativas ambientales aplicables, y con otros requisitos que la organización suscriba,
- proporciona el marco para el establecimiento y revisión de los objetivos y metas ambientales,
- se documenta y comunica a todos los empleados,
- está disponible para el público y para todas las partes interesadas

b. planificación, es decir:

- procedimientos para identificar los aspectos ambientales de las instalaciones, para determinar las actividades que tienen o pueden tener un impacto significativo en el medio ambiente, y mantener esta información actualizada;
 - procedimientos para identificar y tener acceso a los requisitos legales o no que la organización ha suscrito y son aplicables a los aspectos ambientales de sus actividades;
 - establecer y revisar los objetivos y metas ambientales documentados, tomando en consideración los requisitos legales o no y los puntos de vista de las partes interesadas;
 - establecer y actualizar regularmente un programa de gestión ambiental, incluyendo la designación de responsabilidad para lograr objetivos y metas en cada función y nivel relevante, así como los medios y plazos en los que se han de lograr;
- c. implantación y funcionamiento de procedimientos.

Resulta importante tener procedimientos en práctica para garantizar que los procedimientos se conocen, entienden y cumplen, así que una gestión ambiental efectiva incluye:

- estructura y responsabilidad
 - definir, documentar y comunicar las funciones, responsabilidades y autoridades, lo que incluye la designación de un representante específico de la gerencia;
 - proporcionar recursos esenciales para la implantación y el control del sistema de gestión ambiental, incluyendo recursos humanos y técnicas especializadas, tecnología y recursos financieros;
- formación, conciencia y competencia
 - identificar las necesidades de formación para garantizar que todo el personal cuyo trabajo afecta significativamente a los impactos ambientales de la actividad han recibido la formación adecuada;
- comunicación
 - establecimiento y mantenimiento de procedimientos para la comunicación interna entre los distintos niveles y funciones de las instalaciones, así como procedimientos que fomenten el diálogo con las partes interesadas externas y procedimientos para la recepción, documentación y, si procede, respuesta a comunicación relevante de partes interesadas externas;
- implicación de los empleados
 - implicar a los empleados en el proceso de logro de un alto nivel de rendimiento ambiental, aplicando las formas adecuadas de participación, como un sistema con un libro de sugerencias, trabajos en grupo basados en proyectos o comités ambientales;
- documentación
 - establecimiento y mantenimiento de información actualizada, en formato papel o electrónico, para describir los elementos del núcleo del sistema de gestión y su interacción y para proporcionar orientación a documentación relacionada;
- control eficaz del proceso
 - control apropiado de los procesos en todos los modos operativos, es decir, preparación, puesta en marcha, funcionamiento rutinario, corte operativo y condiciones anormales;
 - identificar los indicadores clave de rendimiento y los métodos para medir y controlar esos parámetros (por ejemplo, flujo, presión, temperatura, composición y cantidad);
 - documentar y analizar las condiciones operativas anormales para identificar la raíz de las causas y así poder tomar las medidas necesarias para que esos sucesos no se vuelvan a repetir (algo que puede facilitar esto es la cultura de «no culpar», en la que la identificación de las causas es más importante que culpar a individuos);
- programa de mantenimiento
 - establecer un programa estructurado para el mantenimiento, basado en descripciones técnicas del equipamiento, normas, etc. así como de cualquier fallo del equipamiento y sus consecuencias;
 - apoyar el programa de mantenimiento a través de sistemas apropiados de guardado de los registros y de realización de pruebas de diagnóstico;

- designar de una manera clara las responsabilidades de planificación y ejecución del mantenimiento;
- preparación y respuesta ante las emergencias
 - establecer y mantener procedimientos para identificar el potencial y la respuesta ante los accidentes y las situaciones de emergencia, para prevenir y mitigar el impacto ambiental que puede venir asociado a éstos;
- d. comprobaciones y medidas correctivas, es decir:
 - supervisión y mediciones
 - establecer y mantener procedimientos documentados para supervisar y medir, de manera regular, las características clave de las operaciones y actividades que pueden tener un impacto significativo en el medio ambiente, incluyendo el registro de información para el seguimiento del rendimiento, controles operativos relevantes y conformidad con los objetivos y metas ambientales de las instalaciones (véase también el documento de referencia sobre supervisión de emisiones) [68, EIPPCB, 2003];
 - establecer y mantener un procedimiento documentado para evaluar periódicamente el cumplimiento de la legislación y normativas ambientales relevantes;
 - acciones correctivas y preventivas
 - establecer y mantener procedimientos para definir responsabilidades y autoridades para la gestión e investigación de los no cumplimientos respecto de las condiciones del permiso, otros requisitos legales y objetivos y metas, tomar medidas para mitigar cualquier impacto causado e iniciar y completar acciones preventivas y correctivas adecuadas a la magnitud del problema y acorde con el impacto ambiental tratado;
 - registros
 - establecer y mantener procedimientos para la identificación, mantenimiento y disposición de registros legibles, identificables y rastreables, incluyendo los registros sobre formación y los resultados de auditorías y revisiones;
 - auditoría
 - establecer y mantener un (unos) programa(s) y procedimientos para auditorías periódicas del sistema de gestión ambiental en los que se incluyan debates con el personal, inspección de las condiciones operativas y el equipamiento, así como la revisión de los registros y de la documentación, teniendo como resultado un informe escrito. Se realizará imparcial y objetivamente por parte de los empleados (auditorías internas) o por terceros (auditorías externas), e incluirá el alcance de la auditoría, la frecuencia y las metodologías, así como las responsabilidades y requisitos para llevar a cabo auditorías e informar de los resultados, con el objetivo de determinar si el sistema de gestión ambiental concuerda o no con lo planeado y si se ha implantado y mantenido correctamente;
 - completar la auditoría o el ciclo de auditorías, según convenga, en intervalos no superiores a tres años, dependiendo de la naturaleza, escala y complejidad de las actividades, la importancia de los impactos ambientales asociados, la importancia y la urgencia de los problemas detectados en auditorías previas y el historial de los problemas ambientales (las actividades más complejas con un impacto ambiental mayor se auditan de manera más frecuente);
 - tener mecanismos adecuados en práctica para garantizar el seguimiento de los resultados de las auditorías;
 - evaluación periódica del cumplimiento legal
 - revisar el cumplimiento con la legislación ambiental aplicable y las condiciones del (de los) permiso(s) ambiental(es) ostentados por las instalaciones;
 - documentación de la evaluación;
- e. revisión de la gestión, es decir:
 - revisar, por parte de la gerencia, a intervalos que ésta determine, el sistema de gestión ambiental, para garantizar su idoneidad, corrección y efectividad continua;
 - garantizar que se recopila la información necesaria para permitir a la gerencia llevar a cabo esta evaluación;
 - documentación de la revisión;

- f. preparación de una declaración ambiental regular:
- preparar una declaración ambiental que preste una atención particular a los resultados conseguidos por la instalación respecto de sus objetivos y metas ambientales. Se realiza de manera regular (de una vez al año a menos frecuentemente dependiendo de la importancia de las emisiones, generación de residuos, etc.). En ella se consideran las necesidades informativas de las partes relevantes interesadas y está disponible públicamente (por ejemplo, en publicaciones electrónicas, bibliotecas, etc.);
 - cuando elabora una declaración, el operador puede utilizar indicadores ambientales relevantes ya existentes, asegurándose de que los indicadores escogidos:
 - proporcionan una visión precisa del rendimiento de las instalaciones,
 - son comprensibles y no pecan de ambigüedad,
 - permiten una comparación de año en año para evaluar el desarrollo del rendimiento ambiental de las instalaciones,
 - permiten una comparación con los puntos de referencia sectoriales, regionales o nacionales, si procede,
 - permiten una comparación con los requisitos normativos, si procede,
- g. validación por parte de un organismo de certificación o un verificador de SGA externo:
- tener examinados y validados el sistema de gestión, procedimiento de auditorías y la declaración ambiental por parte de un organismo de certificación acreditado o por un verificador de SGA externo puede, si se lleva a cabo correctamente, aumentar la credibilidad del sistema;
- h. consideraciones en el diseño para la puesta fuera de servicio de la instalación al final de su vida útil
- considerar el impacto ambiental de la eventual puesta fuera de servicio de la unidad en la etapa del diseño de una nueva instalación, ya que la previsión hace que aquella se realice de una manera más fácil, limpia y barata;
 - la puesta fuera de servicio plantea riesgos ambientales por la contaminación de la tierra (y de las aguas subterráneas) y genera grandes cantidades de residuos sólidos. Las técnicas de prevención son específicas para cada proceso, pero dentro de las consideraciones generales se pueden incluir:
 - evitar las estructuras subterráneas,
 - incorporar elementos que faciliten el desmantelado,
 - elegir acabados de superficies que se descontaminen fácilmente,
 - utilizar una configuración del equipamiento que minimice la retención de productos químicos y facilite el drenaje o lavado,
 - diseñar unidades flexibles y autónomas que permitan un cierre gradual,
 - utilizar materiales reciclables y biodegradables siempre que sea posible,
- i. desarrollo de tecnologías más limpias:
- la protección ambiental ha de ser una característica inherente de cualquier actividad de diseño de procesos realizada por el operador, ya que las técnicas incorporadas en la etapa de diseño más temprana posible son más efectivas y baratas. Considerar el desarrollo de tecnologías más limpias puede, por ejemplo, hacerse realidad a través de estudios o actividades de I+D. Como una alternativa a las actividades internas, se pueden tomar medidas para mantenerse al día, y si procede, respecto del trabajo de otros operadores o institutos de investigación activos en el campo relevante;
- j. establecimiento de puntos de referencia, es decir:
- llevar a cabo comparaciones regulares y sistemáticas con los puntos de referencia sectoriales, regionales o nacionales, incluyendo los de la eficacia energética y los de las actividades de conservación de la energía, elección de materiales de entrada, emisiones al aire y vertidos al agua (utilizando por ejemplo el Registro Europeo de las Emisiones Contaminantes, EPER), consumo de agua y generación de residuos.

SGA estándar y SGA no estándar

Un SGA puede adoptar la forma de un sistema estándar o no estándar («personalizado»). La implantación y la adherencia a un sistema estándar aceptado internacionalmente, como la EN ISO 14001:1996, puede dar una mayor credibilidad al SGA, especialmente si se somete a una verificación externa correctamente realizada. El EMAS proporciona credibilidad adicional

debido a la interacción con el público a través de la declaración ambiental y el mecanismo para garantizar el cumplimiento con la legislación ambiental aplicable. No obstante, los sistemas no estándar pueden en principio ser igualmente efectivos, siempre que se diseñen e implanten de un modo correcto.

Beneficios ambientales obtenidos

La implantación o la adherencia a un SGA centran la atención del operador en el rendimiento ambiental de las instalaciones. En particular, el mantenimiento y el cumplimiento con procedimientos operativos claros tanto en situaciones normales como extraordinarias y las líneas asociadas de responsabilidad han de garantizar que las condiciones del permiso de las instalaciones y los demás objetivos y metas ambientales se cumplen siempre.

Los sistemas de gestión ambiental garantizan normalmente la mejora continua del rendimiento ambiental de las instalaciones. Cuanto peor es el punto de inicio, más mejoras importantes se pueden esperar a corto plazo. Si las instalaciones ya tienen un buen rendimiento ambiental general, el sistema ayuda al operador a mantener este nivel de rendimiento alto.

Efectos cruzados

Las técnicas de gestión ambiental están diseñadas para tratar el impacto ambiental general, en concordancia con el enfoque integrado de la Directiva IPPC.

Datos operativos

No se ha informado de información específica.

Aplicabilidad

Los componentes descritos en párrafos anteriores pueden normalmente aplicarse a todas las instalaciones IPPC. El alcance (por ejemplo, el nivel de detalle) y la naturaleza del SGA (por ejemplo, estándar o no estándar) estarán generalmente relacionados con la naturaleza, escala y complejidad de las instalaciones y con la gama de impactos ambientales que pueda tener.

Factores económicos

Es difícil determinar de una manera precisa los costes y beneficios económicos de introducir y mantener un buen SGA. Más adelante se presentan una serie de estudios. No obstante, éstos son sólo ejemplos y sus resultados no son coherentes por completo. Pueden no resultar representativos para todos los sectores en la UE y, por lo tanto, se deben contemplar con precaución.

Un estudio sueco llevado a cabo en 1999 estudió las 360 compañías suecas registradas en el EMAS y con certificación ISO. Con una tasa de respuesta del 50 %, en él se concluyó, entre otras cosas, que:

- los gastos de introducción y funcionamiento de un SGA son altos pero no excesivos, salvo en el caso de empresas muy pequeñas. Se espera que los gastos disminuyan en el futuro;
- un mayor grado de coordinación e integración del SGA con otros sistemas de gestión se considera como una posible forma de disminuir los costes;
- la mitad de todos los objetivos y metas ambientales empiezan a amortizarse en un año a través de disminuciones en los gastos o aumentos en los ingresos;
- los ahorros de gastos mayores se realizaron a través de menores gastos de energía, tratamiento de residuos y materias primas;
- en la mayoría de las compañías se piensa que su posición en el mercado se ha visto reforzada por medio del SGA. Un tercio de las compañías informan de un incremento de ingresos gracias al SGA.

En algunos Estados miembros las comisiones por supervisión se reducen si las instalaciones gozan de una certificación.

En una serie de estudios ([77, Klemisch y Holger, 2002], [78, Clausen, et al., 2002]) se muestra que hay una relación inversa entre el tamaño de la compañía y el coste de implantación de un SGA. Una relación inversa similar existe en lo referente al período de amortización del capital invertido. Ambos elementos conllevan una relación coste-beneficio menos favorable en el caso de la implantación de un SGA en pymes, en comparación con compañías más grandes.

De acuerdo con un estudio suizo, el coste medio de elaborar y aplicar la ISO 14001 puede variar:

- para una compañía de entre 1 y 49 empleados: (64.000 CHF) 44.000 EUR para la elaboración del SGA y (16.000 CHF) 11.000 EUR al año para aplicarlo
- para una instalación industrial con más de 250 empleados: (367.000 CHF) 252.000 EUR para la elaboración del SGA y (155.000 CHF) 106.000 EUR al año para aplicarlo.

Estas cifras medias no representan necesariamente el coste real para una instalación industrial dada, ya que el coste depende mucho también del número de elementos significativos (contaminantes, consumo de energía, etc.) y de la complejidad de los problemas que se han de estudiar.

Un reciente estudio alemán [69, Schaltegger y Wagner, 2002] muestra los costes siguientes (véase la tabla 4.7) para el EMAS de diferentes ramas. Se puede observar que estas cifras son mucho más bajas que las del estudio suizo mencionado más arriba. Esto no es más que una confirmación de las dificultades de determinar los costes de un SGA.

<u>Costes de elaboración (EUR):</u> gama: 18.750 – 75.000 media: 50.000	<u>Costes de validación (EUR):</u> gama: 5000 – 12.500 media: 6000
---	--

Tabla 4.7: Coste de la aplicación del EMAS

Un estudio del Instituto Alemán de Empresarios [70, UNI/ASU, 1997] proporciona información sobre los ahorros medios logrados por el EMAS anualmente, así como el tiempo de amortización medio. Por ejemplo, para unos costes de implantación de 80.000 EUR, hallaron unos ahorros medios de 50.000 EUR por año, correspondiéndose esto con un tiempo de amortización de alrededor de un año y medio.

Los costes externos relacionados con la verificación del sistema se pueden estimar a través de las orientaciones emitidas por el Foro de Acreditación Internacional [71, IAF, 2003].

Motivo principal para su aplicación

Los sistemas de gestión ambiental pueden proporcionar una serie de ventajas, por ejemplo:

- una mejor comprensión de los aspectos ambientales de la compañía,
- una base mejorada para la toma de decisiones,
- una mayor motivación del personal,
- oportunidades adicionales para la reducción de los costes operativos y la mejora de calidad de los productos,
- un rendimiento ambiental mejorado,
- una mejora de la imagen de la compañía,
- costes reducidos por no cumplimiento, seguros y responsabilidades,
- un mayor atractivo para empleados, clientes e inversores,
- una confianza mayor por parte de los organismos normativos, lo que puede llevar a supervisiones normativas menos frecuentes,
- una mejora de la relación con los grupos ecologistas.

Instalaciones de ejemplo

Los elementos descritos de (a) a (e) más arriba son elementos de la EN ISO 14001:1996 y del Esquema de Auditoría y Ecogestión de la Comunidad Europea (EMAS), mientras que los elementos (f) y (g) son específicos del EMAS. Se ha informado de que estos dos sistemas estándar están aplicados en siete instalaciones de TR. Los ejemplos comunicados son en instalaciones para el tratamiento de aceites residuales, disolventes residuales y preparación de combustible a partir de residuos peligrosos y de residuos no peligrosos.

Bibliografía

[66, GTT, 2003], [72, CE, 2001], [73, ISO, 1996], [150, GTT, 2004]

4.1.2.9 Promoción de una buena colaboración entre el productor de los residuos y su poseedor

Descripción

De manera general, se puede decir que las opciones tomadas pronto en la cadena tienen más beneficios y que la prevención es mejor que el tratamiento. Así, las medidas tomadas por el productor de residuos y el poseedor pueden tener un gran efecto en los residuos. De esta forma, esta técnica se centra en intentar influir en el productor y poseedor de residuos y, si hay problemas, intentar cambiar los malos hábitos en la gestión de residuos del productor o poseedor.

Beneficios ambientales obtenidos

En las instalaciones de tratamiento de residuos se confía de una manera significativa en los vínculos con la logística, medidas y compañías que las preceden, especialmente si esto puede ayudar a evitar la necesidad de utilizar soluciones muy caras para el tratamiento de residuos.

Aplicabilidad

Algunas veces es muy difícil convencer a los productores y poseedores de residuos de que cambien sus hábitos. Además, son las autoridades quienes llevan a cabo el control del productor de residuos.

Factores económicos

Normalmente, esto disminuye el coste del tratamiento de residuos.

Motivo principal para su aplicación

Intentar reducir el coste del tratamiento. Esta técnica está relacionada con el apartado c del artículo 3, es decir, con las obligaciones de los productores de residuos sujetos a la IPPC y no sujetos a la IPPC, artículo 2 de la Directiva sobre residuos peligrosos (91/689/CEE).

Instalaciones de ejemplo

Plantas de tratamiento físico-químico de aguas residuales. Las aguas residuales generadas durante el tratamiento de residuos en una instalación FQ contienen niveles inadmisiblemente altos de materiales orgánicos, descritos como AOX. Para separar esos materiales orgánicos de las aguas residuales o para convertirlos en ellas se han de utilizar procedimientos técnicamente caros y, en parte, intensivos en lo que respecta a la energía, como la adsorción u oxidación.

Una solución por proceso independiente para esta tarea es separar la recolección de materiales orgánicos, descritos como AOX, directamente en el punto donde aparecen, para que no se mezclen con los residuos que se han de tratar y no puedan contaminar las aguas residuales producidas en el curso del tratamiento de residuos. Esto, por lo tanto, elimina la necesidad de aplicar los procedimientos susodichos para reducir la proporción de materiales orgánicos, descritos como AOX.

Los AOX no se pueden separar a través de la adsorción con carbón activo. Queda claro que una recolección separada de los materiales que aparecen en los AOX es ciertamente más efectiva. En la práctica, estos tipos de sustancias se mantienen estrictamente separados.

La operación de destilación debería colaborar logísticamente para cumplir con la recolección separada de los materiales que se han de preparar de acuerdo con los criterios de destilación. Esta cooperación está implantada en la práctica y se ha demostrado que vale la pena.

Bibliografía

[121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004]

4.1.2.10 Utilización de personal cualificado en las instalaciones

Descripción

Algunos ejemplos son:

- a. disposiciones generales: en todo momento, el operador de una instalación de TR ha de tener suficiente personal disponible y acorde con las cualificaciones requeridas. Todo el personal debe poseer una formación específica para su puesto y llevar a cabo formación continuada;
- b. personal de supervisión: el personal de supervisión y todos los jefes de sección de la instalación de gestión de residuos han de ser fiables, estar técnicamente cualificados y gozar de la experiencia práctica adecuada. Las cualificaciones técnicas se pueden haber obtenido a través de la consecución de un título en una facultad técnica estatal o aprobada por el Estado, una facultad de ciencias aplicadas o una escuela de ingeniería. Los conocimientos técnicos también se podrán reconocer sobre la base de una formación comparable o de numerosos años de experiencia práctica;
- c. demás personal: el resto del personal ha de ser fiable y con conocimientos técnicos. Estos conocimientos podrán basarse, por ejemplo, en cualificaciones formales en áreas como los servicios comunitarios y la eliminación de residuos, en numerosos años de experiencia práctica o en una formación comparable.

Beneficios ambientales obtenidos

Mejora y previene el rendimiento ambiental de las instalaciones. Las personas cualificadas y la formación son esenciales en las operaciones de TR, tanto para los productores de residuos (separación, recolección, etc.) como para el operador de TR. La salud, seguridad y protección ambiental dependen de la buena gestión de las instalaciones, que es un resultado de las cualificaciones de los trabajadores.

Efectos cruzados

No conocidos.

Datos operativos.

Ésta es una herramienta de gestión.

Aplicabilidad

Totalmente aplicable en todo el sector de TR.

Factores económicos

Los trabajadores cualificados normalmente son más caros. La puesta en práctica de programas de formación (ya sea de manera interna o contratados externamente) conllevará gastos adicionales para el operador.

Instalaciones de ejemplo

Hay muchos ejemplos en el sector. Podría pasar que algunos residuos entregados causaran problemas, así que es una ventaja que el personal al cargo esté alerta acerca de los residuos problemáticos. No obstante, el personal debe ser consciente de todos los materiales que pueden causar problemas durante su proceso. Dependiendo de las máquinas aplicadas, éstos pueden ser grandes cantidades a granel u otros componentes como metales. Si el personal está muy alerta, se puede garantizar un proceso casi continuo con pequeñas fluctuaciones de calidad.

Bibliografía

[126, Pretz, et al., 2003], [131, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.1.3 Gestión de las instalaciones y las materias primas

4.1.3.1 Provisión de un desglose del consumo y generación de energía por fuentes

Descripción

Con el objetivo de mejorar el sistema de energía desde un punto de vista ambiental, se ha de conocer bien el sistema y se ha de informar íntegramente de él. A continuación se mencionan algunas técnicas que se pueden utilizar:

- a. informar de los consumos de energía en términos de energía distribuida. Para la electricidad, ésta se puede convertir a consumo de energía primaria por medio de factores regionales/nacionales (por ejemplo, en el Reino Unido, para el suministro de electricidad público, se utiliza normalmente un factor de conversión del 2,6). En la tabla 4.8 se ofrece un formato de ejemplo de cómo se puede presentar la información:

Fuente de energía	Consumo de energía		
	Distribuida (MWh)	Primaria (MWh)	% del total
Electricidad*			
Gas			
Combustibles líquidos			
Residuos			
Otros (a especificar por el operador)			
* especifíquese la fuente			

Tabla 4.8: Elaboración de informes sobre el consumo de energía
Basado en [55, UK EA, 2001]

- b. informar sobre la energía exportada de las instalaciones;
- c. proporcionar información sobre el flujo de energía (por ejemplo, diagramas o balances de energía), que muestre cómo se utiliza la energía en todo el proceso. La información puede permitir a los operadores definir o calcular el consumo específico de energía de las instalaciones.

Beneficios ambientales obtenidos

La evaluación de la reducción de emisiones del sistema de energía sólo se puede llevar a cabo con una contabilidad adecuada de las emisiones reales generadas. El desglose entre generación y consumo puede ayudar a optimizar su concordancia y así, a optimizar la utilización de los recursos energéticos.

Efectos cruzados

En algunos casos, el beneficio ambiental de esta técnica es limitado. La razón es que la posibilidad de disminuir el consumo en una instalación existente puede ser más bien limitada, y los posibles esfuerzos para disminuir el consumo se tienen que comparar con el posible aumento de las emisiones del tratamiento.

Aplicabilidad

Totalmente aplicable en todo el sector de TR. No obstante, en ciertas circunstancias (por ejemplo, desarrollo histórico de las instalaciones o del emplazamiento, gestión de las instalaciones), puede resultar difícil relacionar los consumos con cada proceso o tratamiento en

particular, llevado a cabo dentro del proceso general de TR. Estos informes se realizan generalmente anual o semestralmente. Se pueden aplicar frecuencias mayores en caso de una variación mayor de los tipos de residuos tratados.

Factores económicos

Los requisitos son básicos y de bajo coste.

Motivo principal para su aplicación

Reducir los costes energéticos.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [116, Irish EPA, 2003], [150, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.1.3.2 Empleo de combustibles más limpios**Descripción**

El empleo de combustibles más limpios tiene un impacto directo en las emisiones provenientes de la combustión de dichos combustibles. Los combustibles con menos carbono, azufre o contenido en partículas por unidad de energía causarán menos emisiones. Por ejemplo, se ha de considerar el uso de vehículos eléctricos o de GPL. El empleo de combustibles más limpios puede ser un problema cuando la energía se recupera de los residuos (por ejemplo, el uso de los residuos como combustible en el próximo apartado 4.1.3.3), ya que pueden generar también más emisiones en ciertas circunstancias. Este asunto se ha de analizar caso por caso.

Beneficios ambientales obtenidos

Reducción principalmente de las emisiones de carbono, azufre, óxidos de nitrógeno y partículas.

Factores económicos

Normalmente, los combustibles más limpios son también más caros.

Bibliografía

[86, GTT, 2003], [116, Irish EPA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.1.3.3 Utilización de los residuos como combustibles**Descripción**

Los residuos se pueden utilizar como combustible en algunas instalaciones de tratamiento de residuos. La mayoría de estas instalaciones están cubiertas por la DIR y por el BREF sobre IR, y no se abarcan aquí. Sin embargo, la utilización de gases combustibles de instalaciones de residuos (por ejemplo, vertederos y biogás) y de ciertos tipos de residuos peligrosos (por ejemplo, ciertas fracciones de aceites usados) no están incluidas en estos documentos. Cuando se usen esos tipos de combustibles, algunas técnicas que se han de considerar son:

- a. certificar los quemadores, es decir, certificar que queman al nivel requerido,
- b. entre las normas relativas a las condiciones aceptables para el quemado se pueden mencionar:
 - el mantenimiento y manejo correcto de los quemadores para garantizar la máxima combustión,
 - controlar tanto el tamaño del quemador como el volumen de combustible quemado,
- c. utilizar equipamiento de control de la contaminación junto con los quemadores, y supervisar las emisiones y la eliminación de las cenizas (véase el apartado 4.6).

Beneficios ambientales obtenidos

Usos de un recurso normalmente disponible en la instalación. Debido a los estándares más altos requeridos por la DIR, la incineración de residuos normalmente genera emisiones más bajas.

Efectos cruzados

En algunas instalaciones con poco control, la incineración de residuos puede generar mayores emisiones de algunas sustancias.

Factores económicos

Normalmente, los combustibles residuales son más baratos que los convencionales. Por ejemplo, un control probable de pequeños quemadores utilizados sería una emisión de contaminantes máxima específica para los quemadores. Esto requeriría que se controlaran las emisiones de los quemadores para asegurarse de que no exceden los niveles declarados. Esto es probable que sea más caro y menos efectivo que instalar controles de entrada. En el caso de pequeñas cantidades de residuos utilizados como combustible, la comprobación de las emisiones al aire es más difícil y caro que la verificación de la entrada de combustible, y si las emisiones no sobrepasan los niveles indicados, se podría ya haber causado un daño antes de que se pudiera detener el quemador. En el caso de quemadores pequeños, el coste de los controles de salida anularía probablemente el beneficio económico del combustible residual utilizado, frente a otros combustibles. Los controles de salida para la eliminación de cenizas buscarían cómo, y posiblemente dónde, se podrían desechar las cenizas de una manera segura.

Motivo principal para su aplicación

La incineración de residuos está incluida en la Directiva 2000/76/CE.

Instalaciones de ejemplo

Por ejemplo, las instalaciones de refinado del aceite usado utilizan los productos finales ligeros de las destilaciones del aceite usado como combustible. La depuración de los gases de combustión con sosa cáustica puede requerirse para reducir las emisiones de gases ácidos de una instalación de tratamiento de aceite usado. Después se lleva a cabo un lavado del agua del proceso para eliminar el H₂S y se envían los efluentes gaseosos a los calentadores para la destrucción térmica, finalmente yendo al aire a través del sistema de depuración de los gases de combustión.

En la actualidad se requiere que los quemadores de gran tamaño de cualquier combustible tengan instalado un equipamiento de control de la contaminación, y muchos también los tienen para supervisar sus emisiones, ya que los efectos potenciales se consideran altos si algo va mal.

Bibliografía

[14, Ministry for the Environment, 2000], [42, R.U., 1995], [116, Irish EPA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.1.3.4 Medidas para mejorar la eficacia energética

Descripción

Algunas técnicas aplicables para aumentar la eficacia energética de las instalaciones de TR son:

- a. desarrollar un plan de eficacia energética que evalúe los costes y beneficios de diferentes opciones energéticas;
- b. incluir técnicas de gestión de la energía como parte del sistema de gestión ambiental (SGA) general, comprendiendo la supervisión de los flujos energéticos y la propuesta de áreas para posibles reducciones;
- c. utilizar la cogeneración (C);
- d. aplicar medidas operativas, de mantenimiento y funcionamiento en las instalaciones de consumo de energía más relevantes, como:
 - aire acondicionado y sistemas de refrigeración (fugas, juntas, control de la temperatura, mantenimiento de los evaporadores o condensadores),
 - funcionamiento de los motores (por ejemplo, motores de eficacia alta),
 - sistemas de gas comprimido (fugas, procedimiento para su uso),
 - sistemas de distribución del vapor (fugas, trampas, aislamiento),
 - calefacción y sistemas de agua caliente,

- lubricación para evitar pérdidas por alta fricción (por ejemplo, lubricación de niebla),
 - mantenimiento de la caldera, por ejemplo, optimizando el exceso de aire,
 - demás mantenimiento relevante para las actividades dentro de las instalaciones,
 - revisión de los requisitos del equipamiento de manera regular,
 - minimización de las fugas y vertidos a través de la utilización de bandejas de goteo. La mayoría de los vertidos de combustible se conducirán hasta los interceptores principales de la instalación;
- e. utilizar técnicas que reduzcan el consumo de energía y, por lo tanto, disminuyan tanto las emisiones directas (calor y emisiones de la generación en la instalación) como indirectas (emisiones de una central eléctrica remota). Por ejemplo, técnicas que incluyeran:
- el aislamiento de edificios,
 - la utilización de una iluminación de la instalación energéticamente eficiente,
 - el mantenimiento de vehículos,
 - la distribución eficaz de la instalación para reducir las distancias de bombeado,
 - la optimización de las fases de los motores electrónicos,
 - la recuperación del calor,
 - asegurarse de que el equipamiento se apaga, si es seguro hacerlo, cuando no se esté usando,
 - asegurarse de que los movimientos de los vehículos dentro de la instalación se minimizan y que los motores se apagan cuando no se estén utilizando;
- f. aplicar técnicas físicas básicas y de bajo coste para evitar grandes ineficiencias; incluyendo el aislamiento, los métodos de contención (por ejemplo, juntas y puertas con cierre automático) y evitar descargas innecesarias de agua o aire caliente (por ejemplo, instalando sistemas de control simple);
- g. aplicar las técnicas de eficacia energética a los servicios de los edificios;
- h. establecer el tiempo de funcionamiento del equipamiento con alto consumo de energía fuera de las horas punta;
- i. definir y calcular el consumo específico de energía de la actividad (o actividades), estableciendo indicadores clave de rendimiento de manera anual (por ejemplo, MWh/tonelada de residuos procesada). Por ejemplo, basándose en el consumo de energía primaria para los productos o entradas de materias primas que más se acercan al propósito o capacidad de producción principal de las instalaciones;
- j. minimizar las emisiones de los motores diésel;
- k. utilizar el gas de vertedero para producir electricidad y calor;
- l. realizar un estudio energético para identificar las oportunidades de mayores ahorros de energía;
- m. utilizar el calor de los hornos y de los motores para procesos de vaporización y secado y para actividades de precalentamiento;
- n. seleccionar los residuos apropiados que se han de tratar en las instalaciones. Normalmente, las instalaciones diseñadas para tratar un cierto tipo de residuos consumen menos energía que las que no están diseñadas para esos residuos.

Beneficios ambientales obtenidos

Un plan de eficacia energética se puede resumir en un formato similar al del ejemplo que se ofrece a continuación, en la tabla 4.8, junto con la información de apoyo de cualquier procedimiento de evaluación llevado a cabo. Se requiere que el plan garantice que el operador ha considerado todas las técnicas relevantes.

Opción de eficacia energética	Ahorro de CO ₂ (toneladas)	
	Anual	Vida útil
instalación de cogeneración de 7 MW	13.500	135.000
Motor de alta eficacia	2	14
Aire comprimido	5	n.d.

Tabla 4.9: Ahorro de CO₂ a partir de la integración de diferentes técnicas de mejora de la eficacia energética

[55, UK EA, 2001]

La utilización de un plan de eficacia energética y el cambio a combustibles más limpios puede reducir el consumo de energía y las emisiones ambientales derivadas de ese uso de la energía. Un incremento de la eficacia energética de las calderas y calentadores reduce las emisiones de COV, debido a la combustión más completa y a la minimización de las pérdidas de combustible.

Datos operativos

El lugar, dentro de unas instalaciones de TR existentes, donde la mejora se aplica normalmente depende de las instalaciones.

Aplicabilidad

Totalmente aplicable. Sin embargo, en instalaciones donde se llevan a cabo varias actividades de TR, el consumo de energía puede ser difícil de asignar a cada actividad, debido al enfoque integrado normalmente usado por el sistema de energía.

Estas técnicas están aplicadas más extensivamente entre los grandes consumidores de energía. Para industrias intensivas en cuanto a la energía, la aplicación de las técnicas de eficacia energética a los servicios de los edificios puede no tener más que un impacto menor y no deben distraer los esfuerzos en otros aspectos energéticos más importantes. Pueden, no obstante, encontrar su sitio dentro del programa de mejoras, particularmente si pueden constituir más del 5 % del consumo total de energía.

Factores económicos

Normalmente los sistemas con eficacia energética requieren unos gastos de inversión mayores. Sin embargo, sus costes operativos son normalmente más bajos (o las ganancias más altas). Los costes son normalmente más altos para las instalaciones existentes que para las instalaciones nuevas. En la tabla 4.10 se proporcionan algunos ejemplos:

Opción de eficacia energética	NPV EUR'000	NPV/CO ₂ ahorrado EUR/tonelada
instalación de cogeneración de 7 MW	2058	15
Motor de alta eficacia	0,75	52,5
Aire comprimido	n.p.	n.p.
Sólo indicativo, basado en la evaluación coste/beneficio		

Tabla 4.10: Factores económicos de la integración de diferentes técnicas de mejora de la eficacia energética

[55, UK EA, 2001]

La mejora de la eficacia energética se ha de comparar con el coste necesario para lograrla. El TR consume cierto tipo de energía (electricidad, vapor, etc.) y la posibilidad de disminuir el consumo en una instalación existente puede ser más bien limitada en algunos casos. En esos casos, los esfuerzos requeridos quizá no se puedan justificar económica o ambientalmente.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [66, GTT, 2003], [116, Irish EPA, 2003], [132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.1.3.5 Selección de materias primas

Descripción

En este apartado se trata la selección y la sustitución de las materias primas utilizadas. Algunas técnicas son para:

- a. identificar las materias primas y auxiliares, otras sustancias y agua propuestas para su uso. Esto implica la recopilación de una lista conjunta de las materias utilizadas (incluyendo, por ejemplo, información genérica sobre las materias, obsérvese que la agrupación conjunta de las de tipo similar es normalmente más adecuada que el listado de cada alternativa comercial utilizada), que tienen potencial para causar un impacto ambiental significativo, incluyendo:
 - la composición química de las materias, si es relevante,
 - las cantidades utilizadas,
 - el destino final de la materia (esto es, los porcentajes aproximados que van para cada medio y al producto),
 - el impacto ambiental, si se conoce (por ejemplo, degradabilidad, potencial de bioacumulación, toxicidad para especies relevantes),
 - cualquier alternativa razonablemente practicable a las materias primas que tenga un impacto ambiental menor (es decir, aplicar el principio de sustitución);
- b. justificar (por ejemplo, basándose en las emisiones, calidad del producto y motivos económicos) el uso continuado de cualquier sustancia para la que haya una alternativa menos peligrosa;
- c. mantener un inventario detallado de las materias primas utilizadas en la instalación;
- d. implantar procedimientos para la revisión regular de nuevos desarrollos en materias primas y la implantación regular de cualquier materia adecuada que sea menos peligrosa;
- e. tener procedimientos de garantía de la calidad aplicados para el control del contenido de las materias primas;
- f. reutilización de la cal usada en los sistemas de reducción de los gases ácidos por inyección de cal en el incinerador;
- g. reutilización de los ácidos fuertes residuales en los tratamientos en los que se necesiten ácidos.

Beneficios ambientales obtenidos

Con estas medidas se puede:

- reducir la utilización de productos químicos y otros materiales;
- sustituir materiales menos dañinos por otros cuyos contaminantes se puedan reducir de una forma más rápida, y que una vez hecho esto, den lugar a sustancias que también se puedan tratar más rápido;
- ayudar a desarrollar una comprensión del destino final de los subproductos y contaminantes, así como su impacto ambiental;
- considerarse como la opción preferente para algunos ácidos residuales, pero depende del volumen y de la contaminación de los residuos.

Efectos cruzados

Se puede, por ejemplo, en la reutilización de la cal usada, prestar atención al nivel de contaminación metálica y orgánica presente.

Datos operativos

Debido a la naturaleza de los procesos de TR, el consumo de materias primas se ve influido por la variación de los residuos de entrada. Además, existen casos en los que la sustitución de materias primas por residuos no es posible. Por ejemplo, la cal pura tiene una alcalinidad mucho mayor que la cal usada y, en consecuencia, se requieren volúmenes de cal usada mucho mayores. Esto pone una limitación en relación al tamaño del recipiente reactor, y requiere una escala similar con respecto a los depósitos de mezclado para producir la solución de cal.

Aplicabilidad

El alcance para minimizar el impacto ambiental potencial de la utilización de materias primas está, a veces, limitado en términos de la cantidad utilizada (minimización de los residuos) o de su naturaleza (por ejemplo, presencia de contaminantes, empleo de alternativas menos dañinas).

Motivo principal para su aplicación

Razones económicas y ambientales. En el caso de los ácidos concentrados (>70 %-peso), hay un mercado para los ácidos mezclados o reconcentrados. Se ha convertido en viable utilizar ácidos al 50 %-peso, aunque esto requiere una mayor entrada de energía. Se prevé que el área de crecimiento de este mercado atañe a la gama de ácidos al 20 - 30 %.

En el anexo IV de la Directiva IPPC se indica que algunas consideraciones que se han de tener en cuenta generalmente, y en casos específicos cuando se determinan las MTD, son la utilización de tecnología baja en residuos y sustancias menos peligrosas y el reciclaje de las sustancias generadas y los residuos, si procede.

Instalaciones de ejemplo

Para su aplicación en el Reino Unido, se han considerado las siguientes sustituciones de materias primas:

Materia prima	Posible sustituto
Hidróxido de sodio	Sólo se debe utilizar NaOH «libre de mercurio» ¹
Demulsificadores	Sólo se deben utilizar productos totalmente biodegradables con productos de degradación conocidos y seguros

¹ Los productores industriales de NaOH consideran que el NaOH libre de mercurio debe contener menos de 50 µg/kg

Tabla 4.11: Ejemplos de sustitución de materias primas
[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003]

Las instalaciones FQ están planificadas de tal manera que sólo se puede separar un máximo de materiales reciclables y se debe utilizar un mínimo de materiales auxiliares. El consumo de materiales auxiliares se minimiza lo más posible si los residuos que se van a eliminar se pueden utilizar (es decir, tratamiento de residuos con residuos) en lugar de materiales manufacturados.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004]

4.1.3.6 Técnicas para reducir el uso de agua y evitar su contaminación

Descripción

El uso de agua se debe minimizar dentro de los criterios de las MTD para la prevención o la reducción de las emisiones, y debe ser conforme con el uso prudente del agua como un recurso natural. En el BREF sobre aguas residuales comunes y tratamiento de gas residual se ha analizado información general sobre esos aspectos. Algunas técnicas que se han de considerar para el sector de TR son:

- a. llevar a cabo auditorías regulares sobre el agua, con el objetivo de reducir su consumo y de evitar su contaminación. En una buena auditoría sobre el agua, se requiere lo siguiente:
 - la presentación de diagramas de flujo y de balances de masa de agua en el caso de todas las actividades que utilicen agua;
 - el establecimiento de objetivos de eficacia en el uso del agua, en comparación con la orientación para el sector o, si no está disponible, con puntos de referencia nacionales;

- el uso de técnicas de ahorro de agua y otras técnicas de optimización de su utilización;
 - la utilización de la información susodicha para identificar y evaluar oportunidades para una reducción en el uso del agua y para preparar un plan de acción para la implantación de las mejoras, establecido en relación con una escala temporal;
- b. utilizar técnicas eficaces con el agua en el origen;
 - c. reciclar el agua dentro del proceso. Algunas opciones donde esto puede ser posible son:
 - reciclar agua dentro del proceso donde ésta surge, tratándola primero si es necesario;
 - identificar el alcance del agua de sustitución procedente del reciclaje, identificar los requisitos de calidad del agua asociados con cada uso. Los flujos de agua menos contaminada, por ejemplo, aguas de refrigeración, se han de mantener separados si hay algún ámbito para su reutilización, posiblemente incluso después de alguna forma de tratamiento;
 - d. descargar de forma separada el agua no contaminada del tejado y de la superficie, que no se puede utilizar;
 - e. llevar a cabo, antes o después, alguna forma de tratamiento para las aguas residuales. Sin embargo, en muchas aplicaciones, el mejor tratamiento convencional del efluente produce un agua de buena calidad que puede utilizarse en el proceso directamente o mezclada con agua clara. Mientras que la calidad del efluente puede variar, se puede reciclar selectivamente cuando la calidad es la adecuada, y se puede revertir para su descarga cuando la calidad es inferior a aquélla que el sistema puede tolerar. El operador de TR puede identificar dónde se puede utilizar el agua tratada de la instalación de tratamiento de efluente y dónde no. En particular, el coste de la tecnología de membrana continúa bajando de precio, tanto que ahora se aplica a flujos de procesos individuales o al efluente final de la instalación de tratamiento de efluente;
 - f. reemplazar la instalación de tratamiento de efluente, llevando a un volumen de efluente mucho menor. Sin embargo, quedará un flujo de efluente concentrado pero, si es lo suficientemente pequeño, y en especial si hay calor residual disponible para un tratamiento posterior por evaporación, se puede producir un sistema con efluente nulo;
 - g. minimizar el agua utilizada en lavados y limpieza (sujeta al impacto de emisiones de polvo) a través de:
 - aspirar o fregar mejor que lavar con un chorro de manguera,
 - evaluar el alcance de la reutilización del agua de lavado,
 - utilizar controles con gatillo en todas las mangueras y equipamiento de lavado;
 - h. descargar el agua de lluvia a los interceptores;
 - i. cubrir algunas partes de la instalación para evitar la contaminación del agua de lluvia (por ejemplo, en la instalación de tratamiento de residuos principal);
 - j. proteger los sistemas para evitar que los vertidos líquidos y sólidos acaben directamente en cursos de agua o el alcantarillado;
 - k. identificar y, si es posible, cuantificar las emisiones fugitivas significativas al agua de todas las fuentes relevantes, incluyendo la estimación de la proporción de emisiones fugitivas totales para cada sustancia;
 - l. aplicar las técnicas siguientes en todas las estructuras subterráneas;
 - establecer y registrar las rutas de todos los drenajes y tuberías subterráneas de las instalaciones;
 - identificar todos los pozos sépticos y recipientes de almacenamiento subterráneos;
 - aplicar sistemas de ingeniería para asegurarse de que las fugas (por ejemplo, de las tuberías) se minimizan y de que, si ocurren, se pueden detectar rápidamente, especialmente si hay sustancias peligrosas implicadas;
 - proporcionar, en particular, una segunda contención o detección de fugas para estas tuberías, pozos sépticos y recipientes de contención;
 - establecer un programa de inspección y mantenimiento para todas las estructuras de superficie, por ejemplo, tests de presión o de fugas o comprobaciones del grosor de materiales;
 - m. aplicar las técnicas siguientes a estructuras de superficie:
 - describir en detalle el diseño (la información relevante puede incluir, si procede: capacidades, grosores, distancias, materiales, permeabilidad, refuerzos, resistencia a

productos químicos, procedimientos de inspección y mantenimiento y procedimientos de garantía de la calidad en la construcción) y las condiciones de las superficies de todas las áreas operativas;

- tener en práctica un programa de inspección y mantenimiento de las superficies impermeables y los bordillos de contención;
- justificar los casos en los que las áreas operativas no estén equipadas con:
 - una superficie impermeable,
 - bordillos de contención de vertidos,
 - juntas de construcción sellada,
 - conexión a un sistema de drenaje sellado,

n. aplicar las técnicas a los diques mencionados en el apartado 4.1.4.4.

Beneficios ambientales obtenidos

Reducir el uso de agua puede ser un objetivo ambiental (o económico) por sí mismo. Además, desde el punto de vista de reducir las emisiones contaminantes, toda el agua que pasa a través de un proceso industrial se degrada por la adición de contaminantes, y por lo tanto existen beneficios claros que se pueden ganar si se reduce el agua utilizada, en particular:

- beneficios asociados dentro del proceso, como una reducción de los requisitos energéticos para el calentamiento y bombeo del agua;
- la reducción del uso de agua reduce la disolución de contaminantes en el agua, llevando a su vez a una generación de lodos reducida en la instalación de tratamiento de efluente;
- un cálculo de balance de masa realizado en el agua puede revelar normalmente dónde se pueden realizar reducciones en el consumo.

Aplicabilidad

Normalmente esto forma parte de un SGA integral (apartado 4.1.2.8) en las instalaciones. Algunas de estas técnicas sólo se aplican en instalaciones de TR complejas, para identificar las oportunidades de maximizar la reutilización y para minimizar el uso de agua.

Las técnicas mencionadas en párrafos anteriores pueden tener algunas restricciones respecto de su aplicabilidad en el caso de que las emisiones de agua sean continuas o por lotes y en el caso de que la planta de tratamiento de aguas residuales esté dentro de las instalaciones o fuera.

Factores económicos

Algunos incentivos económicos para la aplicación de esta técnica pueden ser:

- reducir el tamaño necesario de una (nueva) planta de tratamiento de aguas residuales,
- reducir los costes si el agua se reutiliza internamente, se compra a un tercero o son terceras partes quienes se encargan de su eliminación.

Motivo principal para su aplicación

Incentivos económicos para reducir la generación de aguas residuales y el consumo de agua. En algunos países de la UE, hay en práctica incentivos que tienen como objetivo el fomento de una reducción en el consumo de agua.

Instalaciones de ejemplo

Los diagramas de flujo y los balances de masa de agua se utilizan de manera común. En algunas instalaciones tienen interceptores subterráneos, depósitos de almacenamiento, depósitos de mezclado y recorridos de tubería, y puede resultar difícil ver cómo se puede determinar la integridad de esos elementos. Podría haber emisiones al suelo subyacente por parte de todas esas instalaciones, que se deberían tratar generalmente como un vertido notificable. Algunas instalaciones han informado de que es posible reducir el consumo de agua hasta en un 90 %.

Bibliografía

[54, Vrancken, et al., 2001], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

4.1.4 Almacenamiento y manipulación

En este apartado se exponen las técnicas a examinar en la determinación de las MTD para las actividades de almacenamiento y manipulación en una instalación de tratamiento de residuos. Sin embargo, cabe señalar que se dispone de un BREF sobre emisiones derivadas del almacenamiento que amplía información sobre el tema.

4.1.4.1 Técnicas genéricas aplicadas al almacenamiento de residuos

Descripción

Entre las técnicas generales, cabe citar las siguientes:

- a. especificación de los procedimientos de almacenamiento para aquellos casos en que los vehículos que transportan residuos deban permanecer estacionados durante la noche o en días festivos y las instalaciones carezcan de medios de supervisión para dichos períodos;
- b. ubicación de las zonas de almacenamiento alejadas de cursos de agua y perímetros sensibles, de forma que se elimine o minimice la doble manipulación de residuos dentro de la instalación;
- c. marcaje y señalización claros de las zonas de almacenamiento con respecto a la cantidad y características de peligrosidad de los residuos almacenados en dichas áreas;
- d. indicación por escrito, clara e inequívoca, de la capacidad de almacenamiento máxima total de las necesidades de la instalación, información que debería adjuntarse a los detalles relativos al método utilizado para el cálculo de los volúmenes cotejados con este máximo. La capacidad máxima indicada de las zonas de almacenamiento no debería superarse;
- e. garantizar que la zona de almacenamiento dispone de infraestructura de drenaje que pueda contener todos los vertidos contaminados y evitar que entren en contacto con residuos incompatibles;
- f. mantenimiento en todo momento de un acceso vehicular despejado (por ejemplo, carretillas elevadoras y peatones) a toda la zona de almacenamiento, de manera que la transferencia de contenedores no dependa de la retirada de otros que pudieran bloquear el acceso, aparte de los bidones situados en la misma fila;
- g. uso de una zona/almacenamiento específico para la clasificación y reacondicionamiento de residuos de laboratorio. Una vez catalogados los residuos según su clasificación de peligrosidad, con la debida consideración a cualquier posible problema de incompatibilidad, y posteriormente reacondicionados, estos bidones no necesitan almacenarse en el recinto específico de residuos de laboratorio, sino que pueden, y de hecho deben trasladarse a la zona de almacenamiento adecuada;
- h. examen minucioso del diseño óptimo del depósito y el recipiente, en cada caso individual, teniendo en cuenta el tipo de residuos, el período de almacenamiento, el diseño global del depósito y el sistema de mezclado al objeto de evitar la acumulación de lodos y facilitar el desenlodado. Los recipientes de almacenamiento y tratamiento deberán ser desenlodados periódicamente;
- i. comprobación de que todas las conexiones entre recipientes puedan ser cerradas mediante válvulas adecuadas. Los conductos de sobreflujo deberán dirigirse a un sistema de drenaje contenido, que puede ser el área de aislamiento correspondiente u otro recipiente siempre y cuando se apliquen unas medidas de control adecuadas;
- j. equipamiento de depósitos y recipientes con sistemas idóneos de eliminación de emisiones volátiles, junto con medidores de nivel dotados de alarmas audibles y visuales de alta precisión. Estos sistemas deberán ser lo suficientemente robustos y ser objeto de un mantenimiento regular para evitar espumación y acumulación de lodos que pudieran afectar a la fiabilidad de los calibradores;
- k. verificación del cumplimiento por parte de los recipientes de almacenamiento que contengan residuos inflamables o altamente inflamables de unos requisitos especiales;
- l. realización del trazado de las tuberías preferiblemente en superficie, aunque si es subterráneo, éstas deberán estar contenidas en canales de inspección adecuados;

- m. sustitución de los recipientes subterráneos o parcialmente bajo tierra y que carezcan de contención secundaria, por ejemplo, con revestimiento doble y detección de fugas, por estructuras superficiales;
- n. equipamiento de los silos con sistemas de eliminación de emisiones volátiles, junto con medidores de nivel y alarmas de alta precisión;
- o. verificación de la incorporación de sistemas de extracción de silos de almacenamiento para la reducción de partículas o pulverización neumática;
- p. ubicación de los recipientes de almacenamiento a granel sobre una superficie impermeable que sea resistente al material almacenado. Los recipientes deberán disponer de juntas de estanqueidad en un área de aislamiento dotada de cierta capacidad. Entre algunos de los ejemplos sobre volúmenes de capacidad aplicados se incluyen los siguientes: mínimo 110 % (otros 100 %) del recipiente de mayor tamaño o 25 % (otros 50 %) del volumen total del recipiente dentro del muro de contención;
- q. verificación de que los recipientes que soporten estructuras, tubos, manguitos y conexiones sean resistentes a las sustancias (y a la mezcla de sustancias) objeto de almacenamiento;
- r. abstención del uso de recipientes más allá de su vida útil especificada, salvo que los recipientes sean inspeccionados periódicamente y siempre que se lleven registros por escrito que demuestren que siguen siendo idóneos para su fin previsto y que su intensidad se mantiene intacta;
- s. conexión, en aquellos casos en que el tratamiento de aceite constituya un proceso de pretratamiento dentro de la instalación de tratamiento de productos químicos, el espacio frontal superior del depósito de sedimentación de aceite a las unidades de escape y a las unidades de reactores de la instalación en conjunto. Algunas instalaciones disponen de sistemas de ventilación de escape para equilibrar el desplazamiento de aire en la carga/descarga de cisternas;
- t. almacenamiento de residuos líquidos orgánicos (con un punto de inflamación inferior a 21 °C) a la atmósfera de nitrógeno para mantenerlos inertizados. Cada depósito de almacenamiento se coloca en una zona de retención impermeabilizada y equipada con un indicador de nivel. Los efluentes gaseosos se recogen y se tratan;
- u. uso de estructura polimérica para cubrir las instalaciones de almacenamiento de sólidos abiertas susceptibles de generación de partículas;
- v. adecuación de un número adecuado de depósitos para los diferentes tipos de corrientes de entrada y salida;
- w. equipamiento de la totalidad o parte de los depósitos con salidas a diferentes alturas para permitir la extracción de determinadas capas del contenido;
- x. tratamiento independiente de corrientes residuales que contengan COV y utilización de instalaciones específicas para dichas corrientes residuales;
- y. aplicación de medidas destinadas a evitar la acumulación de lodos por encima de cierto nivel y la aparición de espumas que puedan afectar a dichas medidas en depósitos de líquidos. Una actuación posible consiste en controlar con regularidad los depósitos, succionando los lodos para someterlos al tratamiento posterior apropiado y utilizando agentes antiespumación;
- z. equipamiento de los depósitos y recipientes con unos sistemas idóneos de disminución de emisiones volátiles cuando éstas puedan generarse, junto con medidores de nivel y alarmas. Estos sistemas deberán ser suficientemente robustos (capaces de trabajar si existen lodos y espuma) y someterse a un mantenimiento regular.

Entre algunas de las técnicas genéricas para la reducción de olores relacionados con el almacenamiento, cabe citar las siguientes:

- aa. optimización del tiempo y la temperatura de control en los procesos de sedimentación,
- bb. control de la decantación de capas sedimentadas mediante evaluación visual de muestras de diferentes niveles,
- cc. manipulación de compuestos causantes de olores en recipientes totalmente cerrados y que reduzcan adecuadamente las emisiones,
- dd. almacenamiento de bidones y envases de materiales que desprendan olores en edificios cerrados,

ee. almacenamiento de residuos ácidos y álcalis que puedan utilizarse en el tratamiento de los malos olores en una serie de silos y después utilizarlos para la creación de un equilibrio óptimo entre ácidos y álcalis en autobombas (o unidades más pequeñas).

Beneficios ambientales obtenidos

El almacenamiento adecuado y seguro de residuos contribuye a la reducción de las emisiones fugitivas (COV, olores, polvo, etc.) y los riesgos de fugas. El almacenamiento segregado es necesario para prevenir incidentes producidos por reacciones entre sustancias incompatibles y como medio de evitar la escalada del problema en caso de incidente.

La técnica está en cierto modo justificada (véase la descripción anterior) para un volumen del 110 % ya que tiene en cuenta la acumulación de lluvia con el muro de contención.

Instalaciones de ejemplo

Las instalaciones de almacenamiento de residuos orgánicos que contienen disolventes suelen disponer de un sistema de filtrado de carbono para el control de las descargas al aire y para permitir cierta supervisión de los gases de salida. Algunos COV pueden ser devueltos a la solución a través de reactores acuosos o reactores de aceite mineral, mientras que otros COV pueden quedar atrapados en filtros de carbón activo. Los depósitos cubiertos son comunes en el caso de materiales de almacenamiento que contienen productos con alta presión de vapor. Se requiere un equipo especial para el almacenamiento de productos altamente inflamables. Suelen extremarse las precauciones para evitar fugas y vertidos al suelo que contaminarían tanto el suelo como las aguas freáticas o permitirían que el material entrara en contacto con el agua superficial. Algunas instalaciones disponen de sistemas de equilibrado (con gas nitrógeno) para reducir el desplazamiento del aire en el llenado de los depósitos. Se procede a la inertización con gas y al equilibrado de todos los depósitos de almacenamiento que intervienen en un proceso de refinamiento. La cantidad de desplazamiento a ventilación durante la transferencia del contenido se minimiza en algunos casos mediante tubos de ventilación conectados. Véase el ejemplo de la figura 4.1 a continuación.

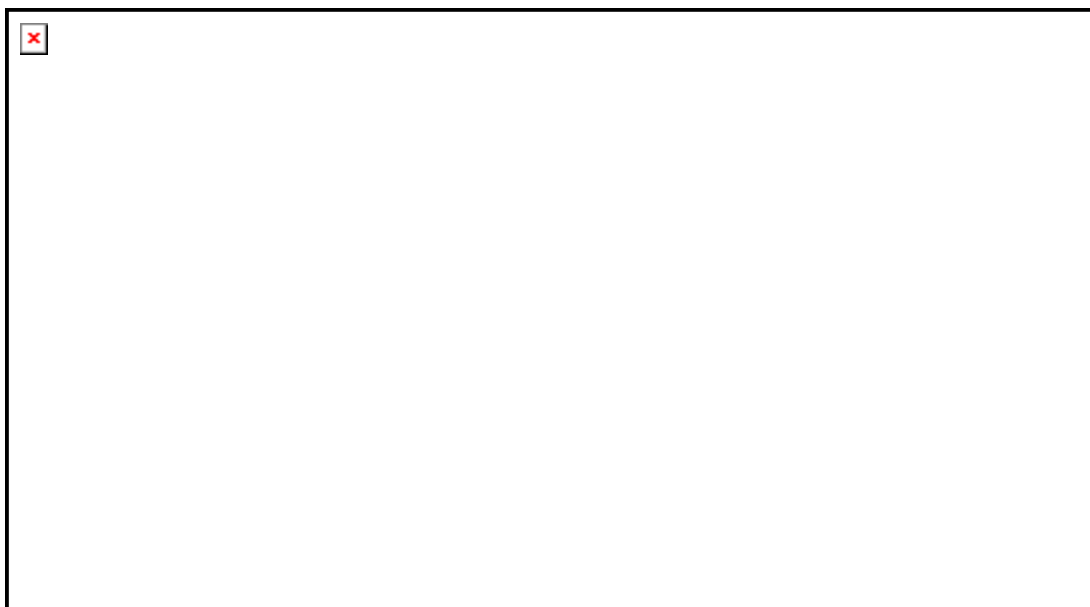


Figura 4.1: Sistema de inertización con gas en un sistema de almacenamiento utilizado en una instalación de rerrefinado de aceites usados [36, Viscolube, 2002]

Una instalación de la UE ha inertizado todos los depósitos de almacenamiento de entrada, así como los productos intermedios del proceso. Los únicos depósitos que no cuentan con inertización son los de gasóleo (de diferentes tipos) y agua. Otra instalación de la UE ha inertizado todos los depósitos de almacenamiento de salida y los productos intermedios del

proceso. Las trampas de COV y olores en depósitos de almacenamiento son comunes en muchas refinерías de aceites usados. Este tipo de instalación también es común en la preparación de combustible residual a partir de residuos orgánicos líquidos.

Bibliografía

[30, Eklund, et al., 1997], [36, Viscolube, 2002], [50, Scori, 2002], [55, UK EA, 2001], [56, Babcie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [116, Irish EPA, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [128, Ribí, 2003], [150, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.1.4.2 Técnicas para el almacenamiento de bidones y otros residuos en contenedores

Descripción

Algunas de las técnicas consisten en:

- a. almacenamiento de residuos en contenedores bajo cubierta. También puede aplicarse a cualquier contenedor que esté en almacenamiento, pendiente de muestreo y vaciado de contenedores. Las zonas cubiertas deberán disponer de la ventilación adecuada. El aire se trata antes de ser liberado en función del tipo de contaminación, si existe (véase el apartado 4.6);
- b. almacenamiento de envases con tapas o cierres bien ajustados o con válvulas de seguridad;
- c. mantenimiento de la disponibilidad y acceso a las zonas de almacenamiento para envases que contengan sustancias conocidas por su sensibilidad al calor y la luz, bajo cubierta y protegidos del calor y de la luz del sol directa;
- d. seguimiento estricto de la siguiente normativa en relación con las zonas de almacenamiento para envases que contengan residuos inflamables o altamente inflamables, ya que estas zonas están muy reguladas;
- e. procesamiento únicamente de contenedores siguiendo instrucciones escritas. Estas instrucciones deberán indicar qué lotes han de ser procesados y el tipo de contenedores requeridos para los residuos;
- f. aplicación de ventilación positiva o mantenimiento de la zona de almacenamiento a una presión inferior a la atmosférica;
- g. utilización de zonas cubiertas con los laterales abiertos;
- h. uso de iluminación antideflagrante;
- i. almacenamiento de bidones como máximo a dos niveles y la garantía en todo momento de que se dispone de espacio de acceso para inspección en todos los laterales. Es decir, cuatro bidones de 205 litros sobre un palé, apilados como máximo en dos filas de bidones de 205 litros;
- j. almacenamiento de contenedores de tal modo que las fugas y vertidos no puedan filtrarse por encima de los muros de contención o el borde de la zona de drenaje sellada;
- k. incorporación de una pequeña unidad a granel diseñada para permitir la decantación de residuos de laboratorio en una lechada de cal en bidones de 205 litros antes de su eliminación en la instalación de tratamiento. Se utilizará una campana extractora situada sobre el bidón y conectada a un sistema de escape y a un filtro de carbón activo. El sistema no es hermético al aire, ya que el operador deberá poder vaciar los frascos en el contenedor, pero podría resultar un sistema sencillo para calcular las descargas al aire durante la decantación de disolventes a un coste mínimo;
- l. redacción y seguimiento de unos procedimientos escritos para la segregación y envasado de residuos de laboratorio;
- m. abstención del almacenamiento de sustancias incompatibles dentro del mismo bidón/contenedor (como los residuos de laboratorio);
- n. uso de una zona/almacenamiento específico para la clasificación y reacondicionamiento de residuos de laboratorio;
- o. una vez catalogados los residuos según su clasificación de peligrosidad, con la debida consideración a cualquier posible problema de incompatibilidad, proceder a su posterior reacondicionado, garantizando que estos bidones no se almacenen en el recinto específico

- de residuos de laboratorio, sino que sean trasladados a la zona de almacenamiento adecuada;
- p. en el caso en que los residuos de laboratorio sean decantados en contenedores de mayor tamaño, la realización de esta tarea en un edificio cerrado dotado de un sistema de ventilación y tratamiento del aire de escape y de un sistema de aislamiento sin drenaje;
 - q. almacenamiento de bidones y envases, incluyendo residuos peligrosos, en depósitos impermeables que además dispongan de doble revestimiento;
 - r. almacenamiento de contenedores completamente herméticos como los RIG y de mayor tamaño, posiblemente fuera de los recintos, sobre un terreno de superficie protegida.

Beneficios ambientales obtenidos

El almacenamiento bajo cubierta de residuos en bidones presenta la ventaja de reducir la cantidad de agua potencialmente contaminada en caso de vertido y de ampliar la vida útil del contenedor. Algunas de las técnicas presentadas evitan asimismo las emisiones que podrían ser causadas por el almacenamiento conjunto de sustancias incompatibles susceptibles de reaccionar entre sí. Otras de las ventajas están relacionadas con el hecho de que se evita la contaminación del suelo.

Efectos cruzados

En relación con la técnica a (véase la descripción anterior), la ventilación por medio de respiraderos en la pared, el tejado o de la propia construcción del área. Por ejemplo, se considera que un almacén abierto es objeto de dilución de emisiones al aire.

Datos operativos

La manipulación suele ser más complicada en zonas cubiertas que en zonas descubiertas y puede ser físicamente imposible almacenar algunos envases grandes bajo cubierta. Además, en este tipo de instalaciones también se deben tener en cuenta los requisitos de acceso para evitar incendios.

Aplicabilidad

En relación con la técnica a, no es necesario almacenar todos los residuos en contenedores bajo cubierta. Por regla general, se excluyen los residuos y contenedores que no son sensibles a la luz, al calor y a temperaturas ambiente extremas o a la filtración de agua. En tales circunstancias, un aislamiento adecuado de las zonas de almacenamiento y contención/tratamiento de escorrentía de agua suele bastar para garantizar una protección ambiental eficaz.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.1.4.3 Técnicas destinadas a mejorar el mantenimiento del almacenamiento

Descripción

Algunas de las técnicas consisten en:

- a. la instauración de procedimientos para la inspección y el mantenimiento periódicos de las zonas de almacenamiento, incluyendo bidones, recipientes, firmes y muros de contención. Las inspecciones deberán prestar especial atención a cualquier signo de daño, deterioro y fugas. Será preciso llevar registros en los que se detallen las medidas adoptadas. Las averías deberían repararse lo antes posible. Si la capacidad de contención o la capacidad del muro de contención, colector de lodos o firme se ven comprometidas, los residuos deberán retirarse hasta que concluyan las operaciones de reparación;
- b. la realización de inspecciones diarias sobre el estado de contenedores y palés y la anotación en un registro de estas inspecciones. Si se encuentra que un contenedor está dañado, presenta fugas o se halla en estado de deterioro, deberán adoptarse las disposiciones

necesarias para añadir o transferir el contenido a otro contenedor. Los palés dañados hasta el punto en que la estabilidad de los contenedores esté o pueda verse comprometida deberán ser sustituidos. El «retroactilado de plástico» sólo se utilizará para conferir una estabilidad secundaria al almacenamiento del bidón/contenedor, además del uso de palés que estén en un estado adecuado;

- c. la instauración y seguimiento de una inspección sistemática programada de depósitos y recipientes de mezcla y reacción, incluyendo la realización de pruebas periódicas de espesor. En caso de detectarse daños o deterioro, el contenido deberá ser transferido a un almacenamiento alternativo adecuado. Estas inspecciones deberán efectuarse preferiblemente por personal experto independiente y deberán llevarse registros escritos de la inspección y de cualquier medida correctiva adoptada.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce problemas de almacenamiento y evita emisiones fugitivas.

Instalaciones de ejemplo

Existen múltiples ejemplos dentro del sector.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [150, GTT, 2004]

4.1.4.4 Muros de contención para el almacenamiento de líquidos

Descripción

Todos los depósitos que contengan líquidos cuyo vertido pudiera resultar tóxico para el medio ambiente deberán ser aislados. Algunas cuestiones que hay que tener en cuenta con respecto a estos muros de contención es que:

- a. deberán ser impermeables y resistentes a los materiales almacenados;
- b. no tendrán salida (es decir, carecerán de purga o espita), pero deberán drenar a un punto de recogida para someterse a tratamiento;
- c. deberán tener las tuberías trazadas en áreas de aislamiento sin penetración a superficies contenidas;
- d. deberán estar diseñados para recoger fugas procedentes de depósitos o accesorios para tuberías;
- e. deberán disponer de suficiente capacidad de aislamiento. Véase el punto p del apartado 4.1.4.1;
- f. deberán someterse a inspecciones visuales periódicas y el bombeo de extracción o la eliminación de cualquier contenido bajo control manual se comprobarán con anterioridad para detectar posible contaminación. En aquellos casos en que no se inspeccionen con frecuencia, los muros de contención deberían estar equipados con una sonda de alta precisión y una alarma, según proceda. Deberán programarse inspecciones sistemáticas de los muros de contención (normalmente visuales, aunque pudiendo hacerse extensivas a pruebas de agua, en aquellos supuestos en que la integridad estructural esté en tela de juicio);
- g. deberán disponer de puntos de llenado dentro del muro de contención.

Nota: las áreas de trabajo para la decantación de líquidos y las zonas de almacenamiento deberán estar aisladas por separado.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce la contaminación del suelo y agua producida por vertidos o incidentes significativos que conlleven una pérdida de contención.

Aplicabilidad

Almacenamiento de líquidos.

Motivo principal para su aplicación

Estas cuestiones, por regla general, están reguladas en los diferentes países de la UE.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

4.1.4.5 Restricción del uso de depósitos, recipientes o cubetas no cubiertos**Descripción**

Algunas de las técnicas consisten en:

- a. no permitir la ventilación directa ni descargas al aire mediante la conexión de todas las ventilaciones a sistemas de reducción de emisiones volátiles idóneos;
- b. mantener los residuos o materias primas bajo cubierta en envases estancos.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce las emisiones fugitivas (COV y partículas) y los vertidos.

Datos operativos

En caso de accidente, pueden permitirse descargas al aire para evitar daños más graves.

Por regla general, se aplica al almacenamiento de residuos susceptibles de producir emisiones fugitivas (COV y partículas).

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

4.1.4.6 Técnicas genéricas aplicadas a la manipulación de residuos**Descripción**

Entre las técnicas generales, se incluyen las siguientes:

- a. disponer de sistemas y procedimientos operativos que garanticen la transferencia segura de los residuos al lugar de almacenamiento adecuado;
- b. proseguir con el sistema de localización de residuos que se inició en la fase de preaceptación, vinculado a la aceptación, a lo largo de toda la duración del período de mantenimiento de los residuos en las instalaciones (véase el apartado 4.1.2.3);
- c. tener instaurado un sistema de gestión para la carga y descarga de residuos en las instalaciones, teniendo en cuenta asimismo cualquier riesgo que pudieran conllevar estas actividades (por ejemplo, en la transferencia de residuos líquidos a granel de la cisterna a los recipientes de almacenamiento) incluyendo:
 - disponer de sistemas operativos que permitan evitar el «desenganche de cisternas», es decir, que un vehículo se suelte mientras esté enganchado;
 - asegurar que estos procesos sólo se efectúen por personal adiestrado e invirtiendo en ello el tiempo necesario, sin la existencia de presiones que obliguen a trabajar más rápidamente de lo aceptable;
 - disponer de medidas operativas para garantizar que las uniones estén correctamente ajustadas; con ello se evitará que se aflojen o que se desenganchen. Entre las cuestiones relacionadas con este tema, se incluyen:
 - una instalación de suministro y mantenimiento de manguitos podrá contribuir a garantizar la integridad e idoneidad de las uniones;

- garantizar la dedicación de una atención especial a comprobar que la unión sea capaz de soportar la presión máxima de la válvula de cierre de la bomba de transferencia para evitar que se produzcan incidentes graves;
 - puede que no sea necesario proteger el manguito de transferencia en los casos en que se disponga de un sistema gravitatorio de alimentación. Sin embargo, seguirá siendo importante mantener una unión adecuada en cada extremo del manguito de transferencia;
 - el control de las posibles fugas debidas a los dispositivos de ensamblaje mediante sistemas relativamente sencillos como cubetas de goteo, o por medio de zonas designadas dentro del sistema de aislamiento. El agua pluvial que caiga sobre el resto del área de aislamiento irá a parar a un colector de lodos y, si no está contaminada, podrá ser bombeada al interceptor de la instalación y a los puntos de descarga. Las áreas de aislamiento se inspeccionarán y serán objeto de mantenimiento y limpieza. Podrá producirse contaminación de las descargas de agua, pero ésta se verá minimizada por el diseño y la gestión;
 - unas buenas prácticas ambientales que requieran una atención y limpieza constantes;
- la realización de un mantenimiento rutinario, que evite agravar cualquier situación de accidente a causa de averías en la instalación o fallos del equipo, como fallos en la estanqueidad de una bomba o bloqueo de un crisol filtrante de uso común en los puntos de transferencia;
 - disponer de un almacenamiento de emergencia para vehículos que presentan fugas, para minimizar un incidente agudo asociado al fallo del sellado del camión cisterna;
 - contraequilibrar el sistema de vapor en la carga de camiones cisterna;
 - contar con medidas operativas que garanticen la descarga de los residuos correctos en el punto de transferencia correcto y la transferencia posterior de los residuos al punto de almacenamiento correcto. A fin de evitar una descarga no autorizada, se ajustará una válvula de aislamiento bloqueable a la conexión de carga, que se mantendrá bloqueada durante períodos en los que se carezca de supervisión en los puntos de descarga;
- d. registrar en el diario del emplazamiento cualquier pequeño vertido producido durante la decantación. Los vertidos deberán contenerse dentro de las áreas de aislamiento y después recogerse con el empleo de adsorbentes. De lo contrario, éste se filtrará al exterior de las instalaciones hasta llegar a los sistemas de recogida de agua pluvial, pudiendo generar emisiones fugitivas (de COV, por ejemplo);
- e. contar con un químico/persona cualificada en las instalaciones del productor/poseedor de los residuos para comprobar los residuos de laboratorio, clasificar las sustancias y envasar los contenedores en contenedores específicos. En algunos casos, se evitarán daños mecánicos en los bidones de los envases individuales con el uso de vermiculita. Algunos operadores sólo trabajan con residuos de laboratorio si los clientes utilizan su servicio de envasado;
- f. acondicionar los envases de productos químicos en bidones separados en función de su clasificación de peligrosidad. Los productos químicos que son incompatibles (como oxidantes y líquidos inflamables) no deberían almacenarse en el mismo bidón;
- g. disponer de un sistema operativo que garantice el uso del punto de descarga o de la zona de almacenamiento correctos. Entre algunas opciones posibles se incluyen sistemas de billetes, supervisión por parte de personal de las instalaciones, codificación mediante claves o colores/manguitos o accesorios para tuberías de un tamaño concreto;
- h. utilizar una superficie impermeable con drenaje autocontenido para evitar la filtración de cualquier vertido en los sistemas de almacenamiento o su escape ex situ en los puntos de descarga y cuarentena;
- i. garantizar que no se utilicen manguitos, válvulas y conexiones dañados. Los manguitos, válvulas y conexiones deberán diseñarse y mantenerse para garantizar que resulten idóneos para el propósito para el cual vayan a ser utilizados y que sean químicamente estables en cuanto a su finalidad prevista;
- j. utilizar bombas de tipo rotatorio equipadas con un sistema de control de la presión y válvula de seguridad;

- k. recoger el gas de escape de los recipientes y depósitos en la manipulación de residuos líquidos susceptibles de generar emisiones fugitivas;
- l. seleccionar el material de envasado adecuado teniendo en cuenta el tipo de material/residuos que vaya a contener (como material peligroso);
- m. disponer de sistemas y procedimientos operativos que permitan garantizar que los residuos objeto de transferencia sean envasados y transportados de conformidad con la legislación relativa al transporte seguro de mercancías peligrosas.

Beneficios ambientales obtenidos

Un almacenamiento idóneo y seguro de los residuos ayuda a reducir las emisiones fugitivas, los riesgos de fugas y contribuye a la prevención de accidentes. El almacenamiento segregado es necesario para evitar incidentes derivados de sustancias incompatibles y como medio de impedir posibles escaladas en caso de incidencia. Podrían producirse transferencias de los palés dañados a otros palés apilados en la parte superior, lo que produciría daños posteriores y un posible desplome de la pila.

Aplicabilidad

Los sistemas de reducción de emisiones volátiles pueden conectarse a los sistemas de ventilación de depósitos, para reducir las pérdidas de disolvente al aire producidas por desplazamientos en el llenado de depósitos y camiones cisterna. Las instalaciones donde se manipulen residuos polvorientos podrán disponer de campanas extractoras, filtros y sistemas de extracción específicos.

La mayoría de emplazamientos dispondrán de un firme totalmente de hormigón, con caídas a sistemas de drenaje internos que desemboquen en depósitos de almacenamiento o a interceptores que recojan el agua pluvial y cualquier vertido. Los interceptores con caudales superiores al rango que desemboquen en alcantarillas, normalmente disponen de sistemas de supervisión automática, como la comprobación del pH, que pueden desconectar cualquier caudal superior al rango.

Motivo principal para su aplicación

Existe legislación relativa al transporte seguro de mercancías peligrosas.

Instalaciones de ejemplo

Las estaciones de transferencia de disolventes de mayor envergadura reducen las pérdidas de desplazamiento procedentes de la carga y descarga de camiones cisterna y de bidones con sistemas de equilibrado o sistemas de recuperación de COV. Muchas instalaciones de tratamiento de productos químicos e instalaciones de almacenamiento de disolventes cuentan con un equipo de reducción de la contaminación para minimizar las emisiones de ácidos y COV.

Las instalaciones de almacenamiento de residuos orgánicos con un contenido en disolventes tienden a utilizar un sistema de filtros de carbono para controlar las descargas al aire y realizar cierto nivel de supervisión del gas de escape.

Muchas de las estaciones de transferencia de residuos que almacenan y bombean mayores cantidades de COV disponen de un equipo de disminución de emisiones o de un equipo de equilibrado para minimizar las pérdidas al aire causadas por el desplazamiento o por efectos térmicos.

Bibliografía

[50, Scori, 2002], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [116, Irish EPA, 2003], [122, Eucopro, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.1.4.7 Manipulación de residuos sólidos

Descripción

Algunas de las técnicas consisten en:

- a. garantizar que la carga a granel de diferentes lotes sólo se produzca cuando existan pruebas de compatibilidad;
- b. no añadir residuos líquidos a residuos sólidos en recipientes de reacción distintos a los diseñados y construidos para este uso y nunca antes de llevar a cabo las pruebas de compatibilidad adecuadas;
- c. utilizar una ventilación de escape local para el control de los olores y el polvo;
- d. descargar sólidos y lodos en un edificio cerrado y despresurizado;
- e. equilibrar el aire entre depósitos y diferentes áreas;
- f. utilizar bombeo de lodos en vez de movimiento abierto.

Beneficios ambientales obtenidos

Evita accidentes y emisiones fugitivas.

Efectos cruzados

Al bombear lodos o líquidos de un contenedor a otro, pueden generarse algunas emisiones en la zona donde se bombea el material debido al desplazamiento del aire.

Aplicabilidad

Las técnicas indicadas como c) y d) en el apartado Descripción suelen ser aplicables a residuos susceptibles de generar emisiones fugitivas.

Instalaciones de ejemplo

Preparación del combustible residual.

Bibliografía

[29, UK Environment Agency, 1996], [55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [122, Eucopro, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.1.4.8 Actividades de manipulación relativas a transferencias a bidones y contenedores o procedentes de ellos

Descripción

Este apartado incluye transferencias de bidones, recipientes, camiones cisterna o pequeños contenedores a/desde bidones. Algunas de las técnicas consisten en:

- a. garantizar que la carga a granel/mezclado sólo se lleve a cabo bajo la oportuna instrucción y la supervisión directa de un gestor/químico adecuado y bajo ventilación de escape local cuando proceda;
- b. la carga a granel de materiales olorosos sólo en condiciones controladas (nunca en el exterior) para evitar emisiones de olores;
- c. mantener el contenedor tapado/sellado herméticamente en la medida de lo posible;
- d. transferir residuos en contenedores a recipientes de almacenamiento con el empleo de un tubo de inmersión;
- e. durante la carga a granel en los camiones cisterna, el uso de líneas de equilibrio de vapor conectadas al equipo de disminución de emisiones adecuado;
- f. garantizar que en la transferencia de un camión cisterna a un bidón o viceversa intervengan como mínimo dos personas para comprobar los tubos y las válvulas en todo momento;
- g. manipular los bidones con medios mecánicos, por ejemplo con una carretilla elevadora equipada con sistema rotatorio de manipulación de bidones;
- h. garantizar que las transferencias/descargas sólo tengan lugar una vez concluidas las pruebas de compatibilidad (véase el apartado 4.1.4.13) y posteriormente sólo con el visto bueno de un gestor competente. La aprobación debería especificar qué lote/carga de material deberá transferirse; el recipiente de almacenamiento receptor; el equipo necesario, incluyendo

- equipo para el control de vertidos y de recuperación; y cualquier disposición especial que afecte a dicho lote/carga;
- i. garantizar que los camiones cisterna no se utilicen a modo de recipientes de reacción ya que éste no es su propósito previsto;
 - j. la mezcla mediante carga a granel en camiones cisterna sólo deberá tener lugar una vez efectuadas las pruebas de verificación y compatibilidad idóneas;
 - k. decantar contenedores individuales de residuos de mayor tamaño en RIG o bidones de 205 litros y el aislamiento generalizado de estas zonas para proteger el drenaje de las instalaciones;
 - l. adoptar las precauciones oportunas frente a riesgos de electricidad estática en la manipulación de líquidos inflamables;
 - m. afianzar los bidones mediante retráctilado
 - n. impartir formación a los operarios de carretillas elevadoras en la manipulación de mercancías paletizadas, para minimizar los daños causados por las carretillas elevadoras a la integridad de los bidones;
 - o. utilizar palés adecuados que no estén dañados;
 - p. sustituir los palés deteriorados a la llegada y no transferirlos a almacenamiento;
 - q. cubrir las necesidades adecuadas de espacio dentro de las zonas de almacenamiento de bidones;
 - r. sólo desplazar los bidones y otros contenedores móviles entre diferentes emplazamientos (o cargarlos para su retirada ex situ) siguiendo las instrucciones del gestor competente; también asegurarse posteriormente de modificar el sistema de localización de residuos en consecuencia para registrar estos cambios.

Beneficios ambientales obtenidos

Evita emisiones fugitivas, debidas por ejemplo a la minimización de salpicaduras, vapores y olores, así como problemas de salud y seguridad; y evita emisiones o reacciones inesperadas.

Aplicabilidad

La técnica r (véase la descripción anterior) se aplica por regla general a aquellos emplazamientos situados dentro de las instalaciones.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.1.4.9 Descarga automática de bidones

Descripción

La estación de descarga incluye (de principio a fin del proceso):

- a. una estación de suministro de bidones impulsada por motorización neumática. Los bidones, transportados por medio de carretillas elevadoras, se sitúan sobre una serie de cintas transportadoras con rodillos motorizados que garantizan que los contenedores se dirijan a la estación de sujeción;
- b. una estación de sujeción para los bidones equipada con un dispositivo de fijación hidráulico. Un dispositivo de fijación hidráulico equipado con tres agarraderas distribuidas a lo largo de la circunferencia de los bidones permite dirigirlos desplazándose, según un movimiento de traslación, hacia las diferentes terminales de la estación;
- c. una estación para el corte, eliminación, lavado y expulsión de la base del bidón. La eliminación del residuo pastoso se garantiza mediante dos barras paralelas verticales en forma de H, uno de cuyos extremos afilados roza el revestimiento interior del bidón, causando fricción. La forma de la parte superior de las barras se adapta a la penetración de materia gruesa. El lavado de los bidones, según el principio de alta presión/bajo caudal, que permite un consumo reducido de agua, se garantiza por las toberas situadas en el interior de revestimientos metálicos;

- d. una estación para la eliminación, desecho y limpieza a alta presión de la cubierta del bidón. Después de la eliminación y limpieza, los bidones se presan mediante dos émbolos en la dirección de su mayor dimensión. Se proporcionan las envolturas apropiadas para evitar salpicaduras y flejados en los bidones. Los bidones presados se dirigen posteriormente a un contenedor de recogida mediante una cinta transportadora;
- e. una estación para el prensado y retirada de los bidones limpios;
- f. una cabina de control;
- g. prevención de emisiones de COV. Los compuestos orgánicos volátiles emitidos por las estaciones de corte, eliminación y lavado se recogen por campanas extractoras conectadas a un aparato de ventilación y son tratados en una unidad de incineración

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce el período de tiempo durante el cual los residuos acondicionados permanecen en las instalaciones y optimiza el proceso de limpieza de los contenedores. El propósito de dicho sistema es descargar residuos de bidones sin intervención humana, lo que evita accidentes.

Aplicabilidad

La estación está diseñada para aceptar bidones estándar con capacidades de 120 y 200 litros, que puedan ser totalmente abiertos y cerrados. Su capacidad de eliminación es de 250 bidones/día.

Motivo principal para su aplicación

La estación automatizada para la descarga de residuos acondicionados satisfará el siguiente objetivo doble:

- mejorar las condiciones de trabajo de los operarios;
- reducir el período de tiempo durante el cual los residuos acondicionados permanezcan en las instalaciones y optimizar el proceso de limpieza de los contenedores.

Instalaciones de ejemplo

Se aplica a la preparación de combustible a partir de residuos peligrosos.

Bibliografía

[91, Syke, 2003], [122, Eucopro, 2003], [150, GTT, 2004]

4.1.4.10 Técnicas destinadas a mejorar el control de existencias en almacenamiento

Descripción

Entre algunas de las cuestiones a analizar, se incluyen las siguientes:

- a. para los residuos líquidos a granel, el control de existencias implica llevar un registro de la ruta seguida por el proceso completo. Para los residuos en bidones, el control debe utilizar el etiquetado individual de cada bidón para registrar la ubicación y período de almacenamiento;
- b. la dotación de capacidad de almacenamiento de emergencia. Sería pertinente en una situación en la cual fuera necesario transferir un residuo desde un vehículo, debido a un defecto o fallo potencial de la contención del vehículo. Estos acontecimientos son inhabituales y la capacidad disponible dentro de las instalaciones podría configurarse como un factor limitante;
- c. todos los contenedores deberán estar claramente etiquetados con la fecha de llegada, el código o códigos de peligrosidad pertinentes y un número de referencia o código único que permita su identificación hasta el control de existencias y mediante referencia cruzada a los registros de preaceptación y aceptación. Todo el etiquetado deberá ser lo suficientemente

- resistente como para permanecer pegado y ser legible a través de todo el período de almacenamiento en la instalación;
- d. utilizar over-drumming como medida de emergencia. Toda la información adecuada deberá transferirse a la etiqueta del nuevo contenedor. Deberá evitarse el traslado de grandes cantidades de residuos en over-drums mediante re-drumming una vez solventado el incidente que dio lugar al over-drumming;
 - e. supervisión automática del almacenamiento y de los niveles de los depósitos de tratamiento con los indicadores de nivel del depósito;
 - f. el control, por ejemplo, de los sistemas de equilibrado de flujo existentes o meramente de los filtros de carbón activo, algunas de las emisiones de los depósitos cuando se agitan o tratan al ser mezcladas, así como en general procedentes de los depósitos de tratamiento de productos químicos o de los depósitos de mezcla de lodos;
 - g. limitar la zona de almacenamiento de recepción a un máximo de una semana solamente (véase el apartado 4.1.1.5);
 - h. adoptar medidas (como la planificación de la aceptación, la identificación del límite de capacidad máximo para dichos residuos, y garantizar que no se supere la capacidad de almacenamiento) para evitar problemas que pudieran generarse a raíz del almacenamiento/acumulación de residuos. Esto es importante dado que las características de los residuos pueden cambiar durante el almacenamiento/acumulación, es decir, pueden compactarse y endurecerse, o como consecuencia de las reacciones de mezclado pueden producirse productos de reacción y aguas residuales. En algunos casos, la homogeneización de los residuos sólo será posible con la ayuda de calentamiento o con la adición de agentes accesorios, etc. y también disponiendo de conocimientos relativos al comportamiento de reacción de los residuos. La aplicación de algunos sencillos esfuerzos preventivos puede contribuir, por regla general, a mitigar estos inconvenientes.

Beneficios ambientales obtenidos

Evita emisiones durante las actividades de almacenamiento.

Datos operativos

Se requiere un sistema de gestión ya que las técnicas anteriores se refieren a un sistema de gestión de la calidad (SGC).

Instalaciones de ejemplo

Existen muchos ejemplos en el sector.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

4.1.4.11 Zona de almacenamiento con estantes elevados para residuos peligrosos controlada por ordenador

Descripción

El centro logístico en el conjunto de diferentes instalaciones de tratamiento es una zona de almacenamiento con estantes elevados para residuos peligrosos controlada por ordenador. Aquí, se identifican, pesan y fotografían todas las sustancias, que son muestreadas antes de su almacenamiento.

Es de especial importancia el laboratorio interno, donde se analizan las muestras de las sustancias residuales individuales antes de su eliminación o recuperación al objeto de identificar las propiedades exactas de la sustancia y determinar el proceso de tratamiento adecuado. El laboratorio también elabora conceptos de limpieza en colaboración con los restantes departamentos.

Al objeto de evitar incendios en la zona de estantes elevados, los recipientes se someten a inertización con nitrógeno. Una planta instalada de acumulación de nitrógeno produce nitrógeno

con un 2 % de contenido residual de oxígeno, que después se descarga en los recipientes. Este proceso se somete a un control y registro continuados. A fin de reducir las emisiones gaseosas, el gas inerte de los recipientes se hace circular por los ventiladores y se filtra con carbón activo.

Beneficios ambientales obtenidos

Separa distintos tipos de residuos peligrosos y garantiza su proceso de tratamiento apropiado.

Datos operativos

Antes del almacenamiento de los contenedores en la zona de estantes elevados, tienen lugar los controles administrativos y técnicos (como el muestreo y la documentación fotográfica). Después se procede al almacenamiento de los envases por medio de un sistema de control de existencias programado. El transporte del contenedor dentro de la zona de estantes elevados se efectúa mediante un equipo de acceso a las estanterías controlado por ordenador. La programación garantiza que todos los procesos de transporte del contenedor estén planificados de antemano y, por lo tanto, que estén predefinidos, y que toda la información asociada (como documentación y resultados del muestreo) y los procesos de transporte ejecutados en el contenedor queden registrados, lo que permite realizar un control exhaustivo. Al objeto de permitir la recepción y el almacenamiento de residuos en diversos contenedores, cada uno de ellos se deposita en un palé estandarizado, diseñado a modo de bandeja colectora, que recoge vertidos procedentes, por ejemplo, del muestreo.

Aplicabilidad

Esta técnica es aplicable a las instalaciones de tratamiento de residuos que reciben residuos peligrosos.

Instalaciones de ejemplo

Existe una instalación de ejemplo de eliminación de residuos en Alemania.

Bibliografía

[157, UBA, 2004]

4.1.4.12 Etiquetado de depósitos y tuberías de proceso

Descripción

Algunos aspectos a considerar relativos a los requisitos de etiquetado son los siguientes:

- todos los recipientes deben estar claramente etiquetados por lo que respecta a su contenido y capacidad, y deben disponer de un identificador único. Los depósitos deben etiquetarse adecuadamente en función de su uso y de su contenido, por ejemplo:

Contenido	Ejemplo de etiqueta
Disolvente	Altamente inflamable
Efluente	Aguas residuales

- la etiqueta debe diferenciar entre aguas residuales y aguas de procesamiento, entre líquidos combustibles y gases combustibles y la dirección del flujo (es decir, entrante o saliente);
- deben mantenerse registros escritos para todos los depósitos, en los que conste su identificador único, su capacidad, sus características constructivas (incluidos los materiales), sus programas de mantenimiento y resultados de inspecciones, sus accesorios y el tipo de residuos que puede almacenar o tratar, incluyendo el punto de inflamabilidad;
- debe usarse un sistema de codificación de tuberías adecuado, por ejemplo el *CEN European Standard Colour Coding*, es decir:

Color	Código	Contenido
Verde	6010	Agua

Marrón	8001	Vapor / líquido combustible
Rojo	3001	Agua para servicio contra incendios
Azul	5012	Aire comprimido

- e. deben marcarse todas las válvulas con un identificador único, que deberá aparecer en los diagramas de instrumentación y de proceso;
- f. todas las conexiones deben dimensionarse correctamente y conservarse sin daños.

Beneficios ambientales obtenidos

El sistema facilita el correcto conocimiento de todo el proceso por parte del operador y ayuda a reducir accidentes y a controlar las emisiones.

Aplicabilidad

El marcaje de todas las válvulas con un identificador que aparezca posteriormente en los diagramas de proceso y de instrumentación no es una práctica habitual, ni tan sólo en la industria química.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003]

4.1.4.13 Realización de pruebas de compatibilidad previas a la transferencia

Descripción

Una buena prueba de compatibilidad debe incluir los elementos siguientes:

- a. se mezcla, de forma proporcional, una muestra procedente del depósito/recipiente/contenedor receptor con una muestra procedente del flujo de residuos entrante que se propone añadir al depósito/recipiente/contenedor;
- b. ambas muestras deben cubrir la situación de «peor de los casos posibles» por lo que respecta a los constituyentes probables;
- c. deben identificarse todos los gases producidos y las causas de posibles olores;
- d. si se observa cualquier reacción adversa, deberán hallarse vías de vertido o eliminación adicionales;
- e. deben considerarse adecuadamente las implicaciones del paso de las pruebas de compatibilidad en el laboratorio a la transferencia a granel;
- f. los parámetros específicos de las pruebas de compatibilidad deben determinarse a partir de los residuos que se transfieren. Como mínimo deben conservarse registros de las pruebas, incluyendo cualquier reacción en que intervengan parámetros de seguridad (aumento de temperatura, evolución de los gases o aumento de presión), parámetros de funcionamiento (cambio de viscosidad y separación o precipitación de sólidos) y otros parámetros, como un desarrollo de olores.

Beneficios ambientales obtenidos

Evita cualquier reacción adversa o inesperada, así como las emisiones antes de la transferencia a los depósitos de almacenamiento.

Aplicabilidad

Se necesitan pruebas antes de la transferencia, y deben considerar:

- descargas de las cisternas a los almacenamientos a granel,
- transferencias entre depósitos,
- transferencias desde un contenedor a un depósito a granel,
- almacenamiento a granel en bidones/RIG (recipientes intermedios para graneles)
- almacenamiento a granel de residuos sólidos en bidones o *skips*.

Bibliografía

[53, LaGrega, et al., 1994], [55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003]

4.1.4.14 Separación del almacenamiento

Descripción

Un aspecto clave para proporcionar un almacenamiento seguro es la compatibilidad, que engloba dos consideraciones independientes:

- la compatibilidad de los residuos con los materiales usados para construir el contenedor, depósito o cisterna en contacto con los residuos (por ejemplo, no deben almacenarse determinados disolventes en contenedores de plástico);
- la compatibilidad de los residuos con otros residuos almacenados conjuntamente (por ejemplo, los contenedores de residuos de cianuros no deben ubicarse en las proximidades de residuos ácidos).

Tras comprobar los residuos a su llegada, se separan en diferentes grupos en función del contenido químico y del tamaño de los contenedores. Algunas técnicas son:

- a. consideración de cualquier incompatibilidad química para guiar los criterios de separación (por ejemplo, evitar la colocación de ácidos junto a cianuros). La Directiva Seveso y la legislación química ofrece guías para esta separación. El BREF de almacenamiento también ofrece algunas recomendaciones;
- b. evitar la mezcla de aceites usados con disolventes residuales. Algunos productos habituales en automoción, como los disolventes desengrasantes, los aerosoles limpiadores de frenos y los aerosoles limpiadores de carburadores, pueden contener compuestos halógenos de cloro, bromo y yodo. Si se mezclan con aceites usados la mezcla resultante puede ser más difícil de tratar;
- c. diferenciación del almacenamiento en función de la peligrosidad de los residuos (por ejemplo, límite del punto de inflamabilidad a 55 °C)
- d. disponer muros cortafuegos entre los sectores de almacenamiento o bien una distancia de seguridad lo bastante grande como para evitar la propagación del fuego.

Beneficios ambientales obtenidos

El almacenamiento separado es necesario para evitar incidentes producidos por la reacción de sustancias incompatibles y como medida para evitar una reacción en cadena en caso de accidente. Otro posible beneficio secundario puede estar asociado con el hecho de que la mezcla de residuos puede dificultar la gestión global de los residuos.

Efectos cruzados

Habitualmente se necesita más espacio para el almacenamiento separado.

Aplicabilidad

El almacenamiento de contenedores de oxidantes y de líquidos inflamables se realiza separadamente, de forma que no puedan entrar en contacto a consecuencia de una fuga.

Motivo principal para su aplicación

Evitar incidentes debidos a reacciones entre productos incompatibles. En algunos Estados miembros se dispone de legislación y recomendaciones sobre este tema (por ejemplo, el Reino Unido).

Bibliografía

[15, Pennsylvania Department of Environmental Protection, 2001], [53, LaGrega, et al., 1994], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004], [151, EIPPCB, 2003]

4.1.5 Pruebas de separación y compatibilidad

Descripción

Una ayuda básica para la reducción en origen es evitar la mezcla de residuos. La idea básica es que una mezcla de una pequeña cantidad de residuos peligrosos con una cantidad mayor de residuos no peligrosos crea una gran cantidad de material que debe tratarse como residuo peligroso. En el apartado 2.1.5 se puede hallar más información. Algunas técnicas y principios a considerar son los siguientes:

- a. no convertir en líquido un residuo seco;
- b. etiquetar correctamente todas las líneas y contenedores. Esto aumentará considerablemente la probabilidad de que el personal de la instalación pueda seguir cualquier cambio en las prácticas destinado a mejorar la separación de residuos;
- c. permitir sólo la mezcla de residuos contaminados de diferentes fuentes contaminantes si la mezcla se trata según el residuo más contaminado;
- d. mantener el agua de refrigeración separada de las corrientes residuales (por ejemplo, de aguas residuales);
- e. considerar, y cuando sea adecuado aplicar, la separación en el almacenaje de materiales (véase el apartado 4.1.4.14);
- f. disponer de normas que restrinjan los tipos de residuos que pueden mezclarse. Parte del objetivo de estas normas es reducir el riesgo ambiental, por razones de seguridad o para evitar la dilución.

Beneficios ambientales obtenidos

El mantenimiento separado de los residuos facilita enormemente cualquier tratamiento necesario. Se puede evitar un gran número de problemas si se realiza una separación adecuada en origen (en el lugar de producción de los residuos). La clave es separar residuos incompatibles colocándolos en zonas separadas y construidas con materiales adecuados. Si se almacenan conjuntamente, en algunos casos, determinados incidentes como fugas pueden provocar la mezcla de residuos incompatibles; en estos casos se pueden producir diferentes reacciones químicas, algunas de las cuales pueden generar presiones o temperaturas excesivas, con el consiguiente riesgo de explosión o de incendio. Otras reacciones pueden generar gases o vapores tóxicos.

Por ejemplo, los aceites usados de lubricantes no separados acostumbran a tener un valor inferior que el fuelóleo. Los aceites usados contaminados pueden causar contaminación cuando se usan en procesos de combustión. Los lubricantes usados separados pueden tener un mayor valor de valorización como combustibles.

El proceso de alimentación en la preparación de combustibles de residuos sólidos a partir de RSM es muy importante, ya que tiene una gran influencia en la calidad de los residuos de salida. Debe garantizarse una homogeneización efectiva y deben excluirse cargas altamente contaminadas en el procesamiento de combustibles de residuos sólidos, ya que podrían hacer disminuir la calidad del producto.

Efectos cruzados

En algunos casos, la mezcla de residuos puede presentar un riesgo mayor (debido a la posible incompatibilidad química de algunos componentes) y puede hacer descartar oportunidades de reciclaje.

Aplicabilidad

Algunas técnicas mencionadas en el apartado de descripción se aplican a los residuos entrantes, otras a los residuos salientes y otras se usan durante la gestión de la instalación (por ejemplo, manipulación y almacenamiento de residuos). Los principales impedimentos a los programas de separación de residuos son los materiales que van a parar a las basuras de la instalación y no deberían. Algunos ejemplos a destacar son los residuos de laboratorio, que deben eliminarse

como residuos peligrosos; otros materiales son los disolventes y los pigmentos, para los cuales debe disponerse de recipientes especiales.

Algunas instalaciones tienen carboneras separadas para diferentes tipos de residuos, como residuos domésticos, residuos comerciales similares a los domésticos y residuos comerciales específicos de la producción.

A veces la técnica a (véase la descripción en la lista anterior) no se considera aplicable por razones de seguridad.

La aplicación de los principios básicos de mezcla y combinación, tal como se describe en el apartado 2.1.5 (prevención de riesgos, procesado subestándar y prevención de la dispersión difusa) es diferente para cada vía de tratamiento. Los residuos se pueden tratar en vías y terminar como combustible, como material de construcción, como fertilizante, como piensos animales, como materia prima para nuevos productos, etc. Dado el carácter altamente variable de los diversos procesos, esta elaboración lleva a resultados muy diferentes en cada vía. La elección del tratamiento afectará, evidentemente, las posibilidades de mezcla de los residuos. Para cada vía de tratamiento de residuos, el tipo y concentraciones de sustancias ambientalmente peligrosas son diferentes y, en consecuencia, los criterios operativos para valorar la actividad de mezcla también serán diferentes.

Antes de mezclar residuos, existe la suposición general de que algunos tipos de residuos no son en absoluto adecuados para el reciclaje o la reutilización. Esto puede afectar a residuos procedentes de diversos procesos de limpieza, por ejemplo restos del TGC, cenizas volantes, sales endurecedoras, tortas de filtración con metales antifricción procedentes de detoxificación, neutralización-deshidratación, polvo de gases de altos hornos, etc. No está permitida, en ninguna vía de procesamiento para recuperación, la mezcla de estos residuos y restos procedentes de procesos de limpieza, que contienen grandes concentraciones acumuladas de sustancias ambientalmente peligrosas. Se trata de residuos que deben eliminarse y cuyos peligros ambientales deben volverse inocuos antes de la eliminación mediante técnicas de inmovilización o de separación de partículas. Los aspectos de la selección del tratamiento de residuos se tratan en el apartado 4.1.2.1.

Aspectos económicos

Algunas corrientes residuales pueden separarse de forma efectiva con unos cambios menores en los equipos. Habitualmente, la eliminación de residuos mezclados será más cara que el tratamiento de una corriente formada por un solo tipo de residuo.

Motivo principal para su aplicación

La Directiva de residuos peligrosos (91/689/CEE) y la Directiva de residuos (75/442/CEE) ofrecen el marco legal de la UE para la mezcla y combinación de residuos. Algunos estados definen normativas estatales (por ejemplo, en algunos estados está totalmente prohibido mezclar escoria/cenizas de fondo de diferentes fuentes).

Las normativas de mezcla y combinación en el ámbito operativo se hallan dentro de las fronteras de los permisos y otras obligaciones (legales y voluntarias) y se redactan y aplican bajo responsabilidad del operador del tratamiento de residuos. Tienen en cuenta enfoques de riesgo y seguridad para:

- evitar accidentes, que pueden generar riesgos para la salud humana y tener efectos adversos sobre el medio ambiente,
- evitar incidentes técnicos y mecánicos que puedan dañar las instalaciones.

Por lo tanto, las normativas de mezcla y combinación en el ámbito operativo acostumbran a estar asociadas a:

- regulaciones en los permisos (residuos no autorizados, obligaciones de mantener residuos separados),
- regulaciones destinadas a la seguridad,

- procedimientos internos y operativos (por ejemplo, control de calidad, certificaciones ISO 14000),
- procedimientos de preceptación y aceptación,
- prescripción de pruebas de compatibilidad (durante los procedimientos de preceptación y aceptación).

Instalaciones de ejemplo

A continuación se presentan algunos ejemplos de pruebas de compatibilidad aplicadas habitualmente en el sector de residuos:

- pruebas de compatibilidad para almacenamiento (véase el apartado 4.1.4.14),
- simulación de los efectos asociados a la neutralización en un experimento de laboratorio,
- la selección y dosificación de los agentes precipitantes y floculantes correctos debe determinarse, en todos los casos, por vía experimental,
- las pruebas experimentales de laboratorio son necesarias para determinar los productos químicos más adecuados para las reacciones de oxidación/reducción y para determinar cómo es la reacción,
- pruebas de laboratorio realizadas para identificar la cantidad de carbón activo necesaria para limpiar las aguas residuales. Los resultados más importantes son el valor de carga, por ejemplo, g de COT/g de carbón activo, y el tiempo de contacto necesario,
- como el punto de dosificación es especialmente importante al usar separadores orgánicos, son necesarios los controles de laboratorio durante el proceso,
- el examen de los parámetros siguientes (véase la tabla 4.13) cuando deben aplicarse sistemas de evaporación/destilación.

Ingredientes	Observaciones	Tipo de evaporador
Sólidos no disueltos	Ya presentes o debidos a la precipitación	Evaporadores sin incrustación y con equipos mecánicos de retirada de sólidos
Sustancias volátiles que forman incrustaciones o engomado	Durante la disolución térmica	Evaporadores con períodos breves de retención o pequeñas diferencias de temperatura entre la fase de calentamiento y la de ebullición
Ingredientes volátiles en vapor de agua	Con una alta concentración en la solución inicial	Evaporadores con tratamiento especial de vapor
Materiales activos en superficies de frontera	Espumantes	Evaporadores con un diseño de separación especial o adición de agentes antiespumantes

Tabla 4.13: Ingredientes que afectan a la evaporación
[121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

El laboratorio está equipado con aparatos que simulan aproximadamente las condiciones de la instalación (por ejemplo, turboagitadores usados brevemente para la mezcla, agitadores lentos para floculación, etc.).

La separación de los aceites usados para generar un material de valor superior al del fuelóleo es una práctica habitual.

A continuación se presentan algunos ejemplos de normas de mezcla y combinación que se aplican a determinados tipos de procesos y residuos.

Procesos térmicos

En la mayoría de casos, es inútil tratar algunos residuos mediante procesos térmicos (en el apartado Aplicabilidad se muestran algunos ejemplos). Sin embargo, si el contenido de materia orgánica del residuo original es superior al 10 %, puede ser necesario un tratamiento térmico. Un criterio para valorar la efectividad de la incineración es, por ejemplo, medir la «pérdida por

combustión» tras el tratamiento térmico. Si la «pérdida por combustión» es inferior al 5 % del peso en seco del resto acabado de formar, el tratamiento es efectivo. Un criterio alternativo de efectividad de la incineración es una concentración de carbono orgánico en los restos inferior al 3 %.

Tratamiento de residuos contaminados con COP

Se permite la mezcla y combinación de residuos para valorización si la concentración de COP no supera el contenido bajo de COP tal como se define en los tratados de Basilea y de Estocolmo. Esto se refleja en las directrices técnicas para la gestión ambientalmente correcta de los residuos formados por, o que contienen, COP y PCB, recientemente aprobadas por la 7a Conferencia de las Partes del Convenio de Basilea. En la tabla 4.14 se muestran los contenidos bajos de COP. Sin embargo, la mezcla de residuos para otras vías de tratamiento como la limpieza de suelos, la elaboración de piensos animales, la elaboración de fertilizantes, etc. puede quedar prohibida aun sin superar el contenido bajo de COP.

Compuesto	Contenido bajo de COP
Dioxinas/furanos	0,015 TEQ mg/kg
PCB	50 mg/kg
Otros COP	50 mg/kg

Tabla 4.14: Concentraciones máximas permitidas para la mezcla de residuos para valorización [156, VROM, 2004]

Metales pesados - Cd, Hg, Tl

Cuando se toman en consideración los tres principios básicos de mezcla y combinación y su elaboración, las autoridades competentes pueden permitir las concentraciones máximas que se presentan en la tabla 4.15 para la cocombustión o la coincineración. Se producirán emisiones a la atmósfera de los metales pesados mercurio, cadmio y talio cuando se usen residuos que contengan dichos elementos en hornos de cemento y centrales eléctricas. Por lo tanto no se permite desviarse de los valores de concentración máxima. Las autoridades competentes pueden desviarse de estas concentraciones máximas prescribiendo un valor inferior en el permiso para la mezcla y la combinación si los criterios de aceptación de la instalación receptora lo hacen necesario. En este sentido, merece la pena destacar que debe realizarse una distinción entre las concentraciones permitidas para la mezcla y las concentraciones para determinar los límites permisibles de emisiones a la atmósfera.

Metal	Concentración máxima (mg/kg materia seca)
Mercurio	10
Cadmio	100
Talio	100

Tabla 4.15: Concentraciones máximas permitidas para la mezcla en cocombustión o coincineración [156, VROM, 2004]

Los residuos que contienen contaminantes diferentes de los arriba mencionados pueden mezclarse para cumplir con los criterios de aceptación de la instalación procesadora. Evidentemente, esto no se aplica a las sustancias residuales antes mencionadas y a los restos procedentes de procesamientos, que tienen grandes concentraciones de contaminantes.

Bibliografía

[53, LaGrega, et al., 1994], [86, GTT, 2003], [89, Alemania, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004], [156, VROM, 2004]

4.1.6 Técnicas para la mejora ambiental de otras técnicas habituales

4.1.6.1 Técnicas para reducir emisiones procedentes del triturado de bidones y actividades de desmenuzado

Descripción

Las técnicas que pueden aplicarse para reducir las emisiones procedentes del triturado de bidones y actividades de desmenuzado son:

- a. encerrar completamente la instalación de desmenuzado y triturado de bidones y equiparla con un sistema de extracción conectado a un equipo de disminución, por ejemplo, un depurador de aceite y un filtro de carbón activo. El sistema de disminución puede equiparse con un sistema de bloqueo con el funcionamiento de la instalación, de forma que ésta no pueda funcionar si el sistema de disminución no se halla en marcha;
- b. mantener cubiertos los equipos para almacenamiento de bidones cortados o triturados;
- c. usar sistemas sellados, por ejemplo, bajantes para la contención de restos;
- d. usar drenajes sellados;
- e. evitar el triturado de bidones que contengan (o que hayan contenido) residuos inflamables y altamente inflamables o sustancias volátiles, excepto si previamente se han retirado los residuos y se ha limpiado el bidón.

En una instalación desmenuzadora, también se pueden aplicar las siguientes técnicas:

- f. disponer una sala para el acondicionamiento de residuos peligrosos antes del tratamiento; toda la sala de tratamiento se mantiene permanentemente a presión negativa gracias a la instalación de tratamiento del aire de escape. Por consiguiente, no se producen emisiones;
- g. almacenamiento de ácidos, bases, productos químicos fotográficos, productos químicos domésticos, plaguicidas y productos químicos de laboratorio;
- h. almacenamiento para líquidos inflamables como disolventes residuales, con un punto de inflamabilidad inferior a 21 °C;
- i. descomposición de los envases de aerosoles en los siguientes componentes: propelentes, ingredientes líquidos, metales y plásticos;
- j. limpieza por succión de todas las emisiones; se puede aplicar un control automático para la succión del aire de escape procedente de diversos procesos, succión que se puede reducir durante el tiempo de inactividad para evitar el consumo de energía;
- k. tratamiento del aire de escape con un filtro de polvo o una poscombustión regenerativa para una combustión sin restos. También se puede usar un filtro prerrecubrimiento (carbón activo y mezcla de cal) en el comienzo del proceso para recoger los componentes adhesivos.

Al tratar residuos peligrosos en una instalación desmenuzadora, también se pueden aplicar las siguientes técnicas:

- l. canal contra sobrepresiones de 12 m de altura para proteger frente a posibles daños;
- m. la instalación resiste presiones de hasta 10 bar;
- n. funcionamiento en lotes del desmenuzador para minimizar la exposición;
- o. uso de sistemas de alarma antiincendios e instalaciones aspersoras; además, las casillas están equipadas con aspersores para reducción del polvo;
- p. disponer de conexión en línea con el servicio de emergencia; en caso de incendio, se notifica inmediatamente la situación a los bomberos;
- q. uso de interruptores, conjuntos y máquinas antiexplosión en toda la sala;
- r. uso de cabinas sobrepresurizadas con filtros de carbón activo en todas las máquinas, para la seguridad del personal;
- s. 50 m³ de agua para el servicio antiincendios en un estanque subterráneo;
- t. inundación permanente con nitrógeno del espacio de trabajo dentro del desmenuzador, para que, con la exclusión del oxígeno, no puedan producirse reacciones (dispositivo de purga por nitrógeno).

Finalmente, para proteger el suelo en una instalación desmenuzadora, se pueden aplicar las técnicas siguientes:

- u. usar una base laminada controlada por vacío para identificación de fugas; la base de la sala tiene forma de cuenco, de forma que el material líquido no puede escapar al exterior;
- v. conservar 450 m³ de agua para el servicio antiincendios, lo que es posible mediante la base en forma de cuenco con un colector de bomba para bombear dicha agua.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce las emisiones de COV a la atmósfera y reduce la contaminación emitida hacia los cursos de agua y hacia el suelo. Las unidades de triturado/desmenuzado de bidones pueden expulsar directamente a la atmósfera. Una técnica para reducir las emisiones de COV es evitar la expulsión directa a la atmósfera a no ser que las emisiones o gases de escape se hayan lavado y purgado totalmente de su contenido original. Algunas técnicas, como la t en la lista anterior, se llevan a cabo para evitar la ignición.

Datos operativos

Se pueden crear atmósferas inertes, para evitar la ignición, usando gases inertes, como el nitrógeno o el dióxido de carbono.

En el desmenuzado de envases de aerosoles, se aplica una limpieza por succión de 30.000 m³ de aire de la sala por hora sobre el filtro de polvo. Se usan dos sistemas separados de recolección y tratamiento del aire de escape. Alternativamente puede aplicarse una succión controlable en las casillas, el desmenuzador y el desmenuzador de envases de aerosoles con un caudal máximo de 12.000 m³/h. La instalación de combustión de gases de escape se usa a más de 800 °C para una destrucción completa de las sustancias dañinas.

Aplicabilidad

Este tipo de tratamientos de algunos residuos que contienen, por ejemplo, COV, pueden generar atmósferas inflamables que representan un problema, ya que también existe la posibilidad de descargas electrostáticas con algunos tipos de mezclas de residuos y reactivos. En algunos casos específicos, algunos bidones que contienen sustancias volátiles (véase la técnica e en el apartado Descripción) pueden triturarse si el triturador incluye un sistema que evite problemas de inflamabilidad o explosión. Cuando los residuos manipulados no generen emisiones a la atmósfera (como olores, polvo o COV) no se suelen aplicar sistemas extractores.

Aspectos económicos

Como ejemplo se considera una instalación de desmenuzado de contenedores en Alemania. La capacidad de la instalación es de 5000 Mg/a. La cantidad de residuos peligrosos tratados es de 1000 t/a. La inversión necesaria para la instalación de tratamiento es de 325.000 EUR.

Otro ejemplo es una instalación de desmenuzado de envases de aerosoles en Alemania, cuya capacidad es de 500 t/a. La inversión necesaria para la instalación de tratamiento es de 500.000 EUR.

Instalaciones de ejemplo

Una instalación de ejemplo consiste en una zona encerrada con extracción de humos, situada en una plataforma elevada y que contiene un cabezal triturador hidráulico por control remoto. Los restos expulsados de los bidones durante el triturado se hacen pasar por un bajante cerrado hacia un bidón situado debajo de la plataforma elevada. Los vapores se extraen mediante un depurador de aceite y dos filtros de carbón activo en serie. Los sistemas de bloqueos impiden el funcionamiento del triturador cuando la puerta de éste está abierta o cuando el sistema de disminución no se halla en funcionamiento.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004], [157, UBA, 2004]

4.1.6.2 Técnicas para reducir emisiones de procesos de lavado

Descripción

Algunas técnicas son:

- a. identificar los componentes que puedan estar presentes en los elementos a lavar (como disolventes, por ejemplo);
- b. transferir los residuos lavados a un almacenamiento adecuado y posteriormente tratarlos de la misma forma que los residuos de los cuales derivan;
- c. usar las aguas residuales tratadas de una instalación de TR; las aguas residuales resultantes se pueden reciclar en una EDAR o devolverse a la instalación en el caso de instalaciones de tratamiento físico-químico. En el último caso, las aguas residuales se tratan exactamente de la misma forma que los residuos que se han transportado y entregado en el contenedor/receptáculo/construcción limpiado.

Beneficios ambientales obtenidos

Permite la identificación y el tratamiento de restos de lavado.

Aplicabilidad

El lavado de bidones y de RIG (recipientes intermedios para graneles) se acostumbra a realizar sólo cuando hay una instalación de tratamiento adyacente que acepte las aguas de aclarado o cuando se dispone de otras posibilidades de tratar adecuadamente las aguas de aclarado .

Los procedimientos de lavado y aclarado se acostumbran a realizar usando aguas residuales tratadas. Las aguas residuales resultantes del lavado y el aclarado se devuelven al proceso o a la EDAR para su retratamiento. En algunos casos la EDAR está situada fuera de la instalación de TR.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004]

4.1.7 Técnicas para evitar accidentes y sus consecuencias

Descripción

La IPPC requiere, como principio general, que se tomen las medidas necesarias para evitar accidentes que puedan tener consecuencias ambientales, así como limitar tales consecuencias. Algunas técnicas son:

- a. elaborar un plan estructurado de gestión de accidentes en un determinado intervalo temporal, que incluya:
 - identificación de los peligros ambientales que presenta la instalación. Se pueden considerar áreas particulares como: tipos de residuos, sobrellenado de recipientes, fallos en la instalación o los equipos (por ejemplo, sobrepresión en los recipientes y tuberías o drenajes atascados), fallos en la contención (por ejemplo, diques de contención o sobrellenado de los colectores de drenaje), fallos en la contención de las aguas para servicios antiincendios, prevención del contacto mutuo de sustancias incompatibles, reacciones no deseadas o reacciones descontroladas, emisiones de efluentes antes de una correcta comprobación de su composición, vandalismo o pirómanos y condiciones meteorológicas extremas (como inundaciones o vendavales);
 - valoración de todos los riesgos (peligro x probabilidad) de accidentes y sus posibles consecuencias. Tras identificar los peligros, el proceso de valorar los riesgos se puede considerar formado por las seis cuestiones básicas siguientes:
 - ¿cuál es la probabilidad estimada de ocurrencia? (fuente, frecuencia)
 - ¿qué se emitirá y cuánto? (evaluación de riesgo del acontecimiento)
 - ¿dónde irá a parar? (predicciones de la emisión: ¿cuáles son las vías de emisión y sus receptores?)

- ¿cuáles son las consecuencias? (valoración de consecuencias: efectos en los receptores)
- ¿cuáles son los riesgos globales? (determinación del riesgo global y de su importancia para el medio ambiente)
- ¿qué se puede hacer para evitar o reducir los riesgos? (gestión de riesgos: medidas para evitar accidentes o reducir sus consecuencias ambientales)

El tipo y profundidad de la valoración dependerá de las características de la instalación y de su ubicación. Los factores principales que deben tenerse en cuenta son:

- la escala y la naturaleza de los peligros de accidente que presenta la instalación y las actividades
 - los riesgos para las áreas habitadas y el medio ambiente (receptores)
 - la naturaleza de la instalación y la complejidad u otros aspectos de las actividades y la dificultad relativa para decidir y justificar la adecuación de las técnicas de control de riesgos
- b. disponer de un sistema documentado que pueda usarse para identificar, valorar y minimizar los riesgos ambientales y los peligros de accidentes y sus consecuencias;
 - c. garantizar que el sistema de aceptación de residuos, con muestreo y análisis de preaceptación, seguido de una verificación a la llegada a la instalación, tengan un papel determinante en la prevención de accidentes (véase el apartado 4.1.1);
 - d. mantener un inventario de sustancias, presentes o posiblemente presentes, que puedan tener consecuencias ambientales en caso de fuga. No debe olvidarse que muchas sustancias aparentemente inocuas pueden ser dañinas para el medio ambiente si escapan (por ejemplo, una cisterna de leche con fugas hacia un curso de agua puede destruir su ecosistema). El inventario también está asociado a la trazabilidad (véase el apartado 4.1.2.3);
 - e. disponer de procedimientos para comprobar las materias primas y los residuos, de forma que se pueda garantizar la compatibilidad con otras sustancias con las que pudieran entrar en contacto (véase el apartado Compatibilidad del apartado 4.1.4.13);
 - f. mantener separados residuos y sustancias incompatibles, en función de su potencial de peligrosidad. Los tipos de residuos incompatibles deben separarse mediante compartimentos o almacenarse en edificios específicos. Los requisitos mínimos incluyen un perímetro curvo y un drenaje independiente. También deben tenerse medidas para evitar la caída de contenedores sobre otras áreas de almacenamiento;
 - g. proporcionar las correctas disposiciones de almacenamiento para materias primas, productos y residuos;
 - h. usar un sistema automático basado en un control mediante microprocesadores, un control mediante una válvula de paso o lecturas de nivel de los depósitos. Algunos ejemplos son: indicadores ultrasónicos, alarmas de nivel elevado y sistemas de bloqueo del proceso;
 - i. garantizar que se mantiene el control en situaciones de emergencia, considerando el uso de alarmas de proceso, disparos y otros elementos de control, como sistemas automáticos basados en un control mediante microprocesadores, un control mediante válvula de paso o lecturas de nivel de los depósitos, por ejemplo indicadores ultrasónicos, alarmas de nivel elevado, sistemas de bloqueo del proceso y parámetros del proceso;
 - j. documentar las medidas de control en práctica, incluyendo la evaluación de estas medidas y la toma de decisiones sobre su adecuación;
 - k. poner en práctica técnicas de control adecuadas para limitar las consecuencias de un accidente, como equipos para derrames de aceite, aislamiento de los drenajes, alerta a las autoridades competentes y procedimientos de evacuación;
 - l. aplicar, cuando sea adecuado, técnicas preventivas, como barreras adecuadas, para evitar daños a los equipos provocados por vehículos en movimiento (véase el apartado 4.1.4.6);
 - m. proporcionar una contención adecuada, por ejemplo con muros de protección y pozas y contención en los edificios (véase el apartado 4.1.4.4);
 - n. aplicar técnicas y procedimientos para evitar el sobrellenado de los depósitos de almacenamiento (para líquidos o sustancias pulverulentas), como mediciones de nivel, alarmas de nivel elevado independientes, cortes por nivel elevado y medición o conteo de lotes (véase el apartado 4.1.4.1);

- o. mantener un registro o diario actualizado de la instalación, en el que se registren todos los incidentes, cuasifallos, cambios en los procedimientos, sucesos anómalos y los resultados de las inspecciones de mantenimiento. Las fugas, vertidos y accidentes pueden registrarse en el diario del emplazamiento. De esta forma el incidente y la respuesta aplicada están disponibles para determinar las emisiones notificables en el informe anual;
- p. elaborar procedimientos para identificar, responder y aprender de los incidentes;
- q. identificar las tareas y responsabilidades del personal implicado en la gestión de los accidentes. Además, debe disponerse de unas guías claras sobre cómo debe gestionarse cada situación de accidente; por ejemplo, contención o dispersión, extinción de un incendio o dejarlo quemar, etc.;
- r. poner en marcha procedimientos para evitar los incidentes consecuencia de una mala comunicación entre el personal durante los cambios de turno o tras las tareas de mantenimiento u otro tipo de tareas de ingeniería;
- s. identificar y ofrecer al personal la formación necesaria;
- t. los sistemas ya aplicados para la prevención de emisiones fugitivas son, en general, relevantes además de los sistemas de drenaje (véase también el apartado 4.1.3.6):
 - deben establecerse procedimiento para garantizar que se comprueba la composición del contenido de un colector con muros de contención o un colector conectado a un sistema de drenaje antes del tratamiento o eliminación,
 - los colectores de drenaje deben equiparse con un sensor o alarma de nivel elevado, con una bomba hacia un almacenamiento adecuado (no para vertido),
 - debe establecerse un sistema para garantizar que los niveles del colector se mantienen siempre al mínimo,
 - no deben usarse de forma rutinaria alarmas de nivel elevado, etc. como método primario de control;
- u. garantizar que las aguas de proceso, las aguas de drenaje, las aguas para servicios antiincendios, las aguas contaminadas químicamente y las fugas de productos químicos quedan contenidas y, donde sea necesario, se dirigen al sistema de efluentes, con una provisión para contener sobrepresiones y flujos de aguas pluviales, y se tratan antes de su emisión a aguas controladas o alcantarillado. Debe disponerse del almacenamiento suficiente para garantizar que puede lograrse tal cosa. También deben aplicarse los procedimientos de contingencia ante derrames para minimizar el riesgo de una emisión accidental de materias primas, productos y materiales residuales y para evitar su entrada en los cursos de agua. Además, todo sistema de recolección de agua para servicios antiincendios debe tener en cuenta los flujos adicionales de agua para incendios o de espumas antiincendios. Pueden ser necesarias balsas de almacenamiento de emergencia, para evitar que el agua contaminada utilizada contra incendios alcance cursos de agua controlados (véase también el apartado 4.1.3.6);
- v. aplicar el mantenimiento y las pruebas con los mismos estándares que la instalación principal o las instalaciones auxiliares;
- w. considerar, y si es apropiado planificar, la posibilidad de sistemas de contención o de disminución para emisiones accidentales de extractores y válvulas de seguridad y descarga o discos de ruptura. Cuando esto no sea aconsejable por cuestiones de seguridad, la atención debe centrarse en reducir la probabilidad de las emisiones;
- x. aplicar procedimientos y provisiones adecuadas para el almacenamiento de determinados tipos de residuos peligrosos que puedan requerir alarmas automáticas y, posiblemente, aspersores. La instalación debe proporcionar un suministro de agua suficiente para la extinción de incendios así como la capacidad de recoger y almacenar el agua residual de las tareas de extinción. El almacenamiento o tratamiento de cualquier residuo reactivo con el agua exigirá un tipo alternativo de sistema de protección antiincendios;
- y. aplicar procedimientos de cierre seguros;
- z. establecer vías de comunicación con las autoridades relevantes y los servicios de emergencia antes y en caso de accidente. Los procedimientos postaccidente deben incluir una valoración de los daños que pueden causarse y de los pasos necesarios para su corrección;
- aa. disponer de medidas de seguridad suficientes, incluyendo personal, para evitar el acceso de vándalos e intrusos involuntarios que pudieran resultar expuestos al contacto con residuos,

- que pudieran dañar los equipos o que pudieran realizar vertidos ilegales. La mayoría de instalaciones utilizan una combinación de guardas de seguridad, cercamiento total (normalmente con vallas), puntos de entrada controlados, una correcta iluminación, señales de aviso adecuadas y vigilancia durante las 24 horas del día. Habitualmente, los guardas también se encargan de la caseta de entrada, donde evitan la entrada de camiones no programados y controlan la entrada de visitantes;
- bb. disponer de y seguir un sistema de inspección que contenga una lista de elementos a inspeccionar, un programa y los problemas habituales que puedan encontrarse. La inspección debe examinar los equipos de procesamiento, las áreas de almacenamiento, los equipos de emergencia, los equipos de control y los dispositivos de seguridad. Básicamente, la inspección debe comprobar averías en los equipos, deterioro estructural, errores de los operadores y vertidos que pudieran dar lugar a la emisión de constituyentes residuales peligrosos;
 - cc. nombrar un empleado de la instalación como coordinador de emergencias, cuya responsabilidad principal es la aplicación del plan. Es importante que la instalación ofrezca formación a sus empleados, para que realicen sus tareas de forma efectiva y segura y el personal sepa cómo reaccionar ante una emergencia;
 - dd. disponer de una protección antiincendios y de un sistema de protección frente a explosiones, con equipos de prevención y detección y equipos de extinción.

Beneficios ambientales obtenidos

Los riesgos ambientales más significativos asociados a las operaciones de tratamiento de residuos proceden del almacenamiento de residuos peligrosos, de las emisiones provocadas por reacciones entre residuos a partir de derrames o fugas, o de procesos de tratamiento descontrolados.

Una combinación de equipos inadecuados y de procedimientos de mantenimiento e inspección incorrectos puede hacer aumentar el riesgo de accidentes, por ejemplo por situaciones de sobrellenado de los depósitos causadas por un mal funcionamiento o una mala calibración de los indicadores de nivel.

Las fugas, derrames y accidentes pueden producirse en cualquier instalación. Una estación de transferencia sugiere que es probable la rotura accidental de un bidón cada trimestre. La técnica o (véase el apartado Descripción anterior) ayuda a los operadores a entender los problemas operativos, de forma que puedan aplicar medidas que eviten o minimicen su aparición futura.

Efectos cruzados

No se conocen.

Datos operativos

La técnica o (véase el apartado Descripción anterior) acostumbra a ser un sistema informático.

Aplicabilidad

Algunas de las técnicas son específicas del sector de TR, pero otras son muy generales. Algunas sólo son relevantes para los tratamientos de residuos peligrosos.

Motivo principal para su aplicación

Principalmente por motivos de salud y de seguridad (reducción de accidentes). La técnica b de la descripción anterior es un requisito básico de la Directiva 75/442/CE, según establece su artículo 9.

Instalaciones de ejemplo

Estas técnicas son procedimientos estándar que se aplican en todo tipo de instalaciones de TR. Sin embargo, las instalaciones de tratamiento de residuos acostumbran a usar sistemas de funcionamiento manual.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [116, Irish EPA, 2003], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.1.8 Técnicas para reducir los ruidos y vibraciones

Descripción

Normalmente, un plan de gestión de ruidos forma parte del sistema de gestión ambiental (SGA en el apartado 4.1.2.8). Habitualmente, este tipo de plan:

- a. describe las fuentes principales de ruidos y vibraciones (incluyendo fuentes poco frecuentes) y las ubicaciones acústicamente sensibles más cercanas. Esta descripción cubre la siguiente información para cada fuente principal de ruidos y vibraciones en la instalación:
 - la fuente y su ubicación en un plano a escala de la instalación,
 - si los ruidos o vibraciones son continuos o intermitentes, fijos o móviles,
 - las horas de funcionamiento,
 - una descripción del ruido o vibración, como martilleos, silbidos, siseos, chirridos, zumbidos, estallidos, chasquidos, golpes sordos, etc. o si tiene elementos tonales,
 - su contribución a la emisión acústica total de la instalación, por ejemplo categorizada en alta, media o baja, a no ser que se disponga de datos de apoyo;
- b. también proporciona la información anterior para el funcionamiento de fuentes poco frecuentes de ruidos y vibraciones (como operaciones estacionales o poco frecuentes, actividades de limpieza o mantenimiento, entregas, recogidas y transporte in situ, actividades fuera de las horas programadas, generadores de emergencia o pruebas de bombas o alarmas);
- c. detalla los estudios, medidas e investigaciones acústicas adecuadas (que pueden implicar valoraciones detalladas de los niveles de potencia acústica para elementos individuales de la instalación) o modelizaciones que pueden ser necesarias para instalaciones nuevas o existentes, teniendo en cuenta el potencial para problemas acústicos.

El centrarse en el plan «ruidos y vibraciones» contribuye a que los operadores:

- d. mantengan correctamente partes de la instalación o los equipos cuyo deterioro puede dar lugar a un aumento de los ruidos (por ejemplo, realizar mantenimiento de cojinetes, de la instalación de manipulación de aire y del edificio, así como medidas específicas de atenuación del ruido asociadas a la instalación, los equipos o las máquinas);
- e. encerrar las áreas o actividades ruidosas dentro de los edificios.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce los niveles acústicos generados por la instalación.

Aplicabilidad

Debe adoptarse un enfoque de sentido común para determinar qué fuentes incluir. Las que deben considerarse son aquéllas que pueden tener un impacto ambiental molesto; por ejemplo, una unidad pequeña puede provocar un problema acústico laboral en un espacio cerrado, pero no es probable que provoque un problema ambiental. Contrariamente, una gran unidad o un conjunto de unidades pequeñas encerradas en un edificio pueden provocar molestias sólo si se dejan las puertas abiertas. También se debe tener presente que algunos ruidos que no son especialmente notables durante el día, pueden ser más evidentes durante la noche.

Motivo principal para su aplicación

Reducción de los ruidos y vibraciones.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [150, GTT, 2004]

4.1.9 Técnicas para el cierre definitivo

Descripción

Algunas técnicas para minimizar los problemas del cierre definitivo, y de cualquier impacto ambiental asociado, son:

- a. considerar el cierre definitivo en la etapa de diseño, lo que permite elaborar planes adecuados para minimizar los riesgos durante el cierre;
- b. para instalaciones existentes en las que se identifican problemas potenciales, poner en práctica un programa de mejoras de diseño. Estas mejoras deben garantizar que:
 - se eviten los depósitos y las tuberías subterráneas. Si no es posible sustituirlos por motivos económicos, los operadores deben protegerlos con sistemas de contención secundaria o un programa de control adecuado,
 - existe la provisión para el drenaje y la limpieza de los recipientes y las tuberías antes del desmantelamiento,
 - los estanques y los vertederos están diseñados considerando su limpieza final,
 - se dispone de un aislamiento que se puede desmantelar fácilmente sin generación de polvo ni peligros,
 - todos los materiales usados son reciclables (con respecto a objetivos operativos o ambientales);
- c. mantener un plan de cierre de la instalación para demostrar que, en su estado actual, ésta puede cerrarse definitivamente para evitar riesgos de contaminación y devolver el emplazamiento a un estado satisfactorio. El plan debe actualizarse a medida que se producen cambios materiales. Sin embargo, incluso en las primeras etapas, el plan de cierre puede incluir detalles sobre:
 - eliminación o descarga de las tuberías y recipientes, siempre que sea adecuado, y su vaciado completo de cualquier posible contenido dañino,
 - planes que engloben todas las tuberías y recipientes subterráneos,
 - los métodos y los recursos necesarios para la limpieza de estanques,
 - el método de cierre de cualquier vertedero in situ,
 - la eliminación de amianto u otros materiales potencialmente dañinos, a no ser que se haya acordado que es razonable dejar tales responsabilidades a los propietarios futuros,
 - métodos de desmantelamiento de edificios y otras estructuras, para la protección de aguas subterráneas y superficiales en los puntos de construcción y demolición,
 - las pruebas del suelo necesarias para determinar el grado de polución causado por las actividades de la instalación, así como información sobre lo necesario para las tareas de remediación que devuelvan el emplazamiento a un estado satisfactorio, según esté definido en el informe inicial del emplazamiento;
- d. describir las medidas propuestas, en el cese definitivo de actividad, para evitar todo riesgo de contaminación y para retornar el emplazamiento a un estado satisfactorio (incluyendo, cuando sea adecuado, medidas relativas al diseño y construcción de la instalación);
- e. describir planes para la eliminación de los restos que se hayan depositado, residuos y todo tipo de contaminación provocada por las actividades de tratamiento de residuos;
- f. garantizar que la instalación y los equipos que dejan de utilizarse se descontaminan y se retiran de la instalación.

Beneficios ambientales obtenidos

Evita problemas ambientales durante el cierre definitivo.

Aplicabilidad

Las técnicas aquí mencionadas son aplicables durante el tiempo de vida útil de la instalación, en las etapas de diseño y construcción y en el cierre de la instalación.

Motivo principal para su aplicación

La técnica e (véase el apartado Descripción anterior) es obligatoria según las normativas actuales de residuos de la UE.

Instalaciones de ejemplo

El cierre definitivo de instalaciones enteras, o de algunas de sus partes, es frecuente en el sector del tratamiento de residuos.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [116, Irish EPA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.2 Técnicas a considerar en los tratamientos biológicos

Este apartado engloba técnicas que se considera que presentan un buen rendimiento operativo ambiental (por ejemplo, uso de un buen sistema energético) o que pueden llevar a un buen rendimiento ambiental (por ejemplo, sistemas de gestión ambiental). Estas técnicas se aplican con los tratamientos biológicos usados habitualmente como parte de todo un proceso de tratamiento de residuos. Los tratamientos biológicos de aguas residuales se tratan en el apartado 4.7.

4.2.1 Selección del tratamiento biológico adecuado

Descripción

Un factor técnico clave para la selección del sistema adecuado es su capacidad de proporcionar un buen contacto entre los constituyentes orgánicos de los residuos y la población microbiana. Esta capacidad depende básicamente del estado de los residuos y de su concentración. En la figura 4.2 se muestra un esquema aproximado del sistema que ofrece la máxima capacidad en función de estas dos variables.

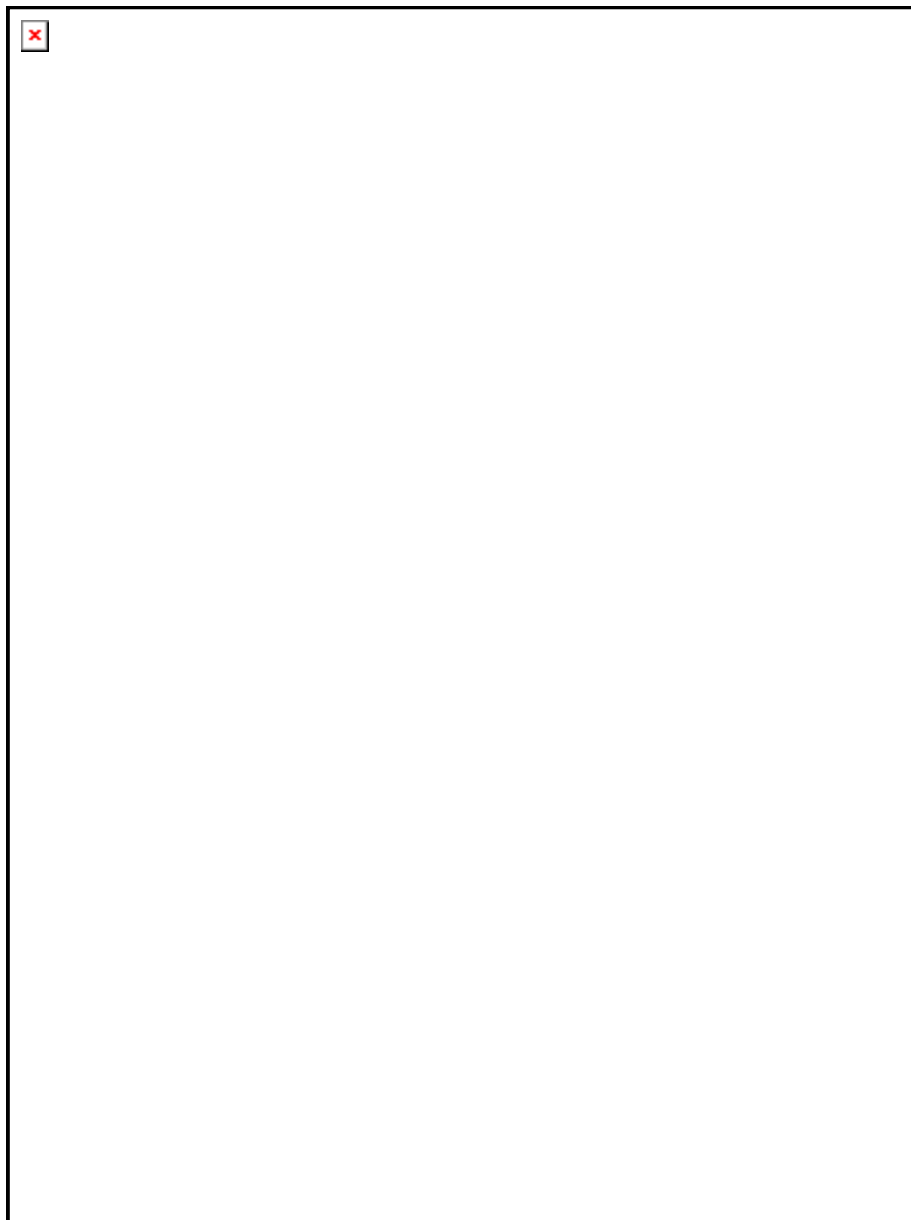


Figura 4.2: Selección de un sistema de tratamiento biológico adecuado en función de la concentración y de la forma de los residuos
[53, LaGrega, et al., 1994]

Además, los biorreactores totalmente cerrados o encapsulados ayudan a controlar mejor el tratamiento biológico y a evitar las emisiones fugitivas (por ejemplo, COV, olores, polvo).

Beneficios ambientales obtenidos

La selección del tratamiento biológico adecuado para los residuos a tratar ayuda a evitar problemas operativos y a obtener un mayor beneficio de los residuos (por ejemplo, el uso como combustible).

Datos operativos

Características importantes a considerar en el sistema biológico seleccionado son la distribución uniforme de los nutrientes y la humedad de los residuos a tratar (homogeneidad), así como la disponibilidad del tratamiento seleccionado.

Motivo principal para su aplicación

La jerarquía de los residuos puede aportar una cierta orientación sobre el tipo de tratamientos que se pueden usar. Sin embargo puede ser que al aplicar la jerarquía de residuos sin un buen análisis básico, no se consigan unos buenos resultados. Se ha informado de que en el caso del

tratamiento de fangos de alcantarillado, a causa del bajo contenido energético de los fangos de alcantarillado tratados biológicamente respecto a los fangos de alcantarillado secados térmicamente, una buena opción puede ser seleccionar digestión anaerobia y secado térmico o incineración para diferentes residuos.

Bibliografía

[53, LaGrega, et al., 1994], [150, GTT, 2004]

4.2.2 Técnicas específicas de almacenamiento y manipulación en los tratamientos biológicos

Descripción

Algunas técnicas asociadas a las técnicas de almacenamiento y manipulación en el tratamiento biológico de residuos son:

- a. disponer de pozos de recepción o depósitos de eculización;
- b. albergar y equipar la instalación de tratamiento de aguas (con un área de aceptación y una carbonera, tratamiento mecánico, instalaciones de almacenamiento y todos los pasos del tratamiento biológico) con un dispositivo de recolección del aire extraído (que contiene polvo, COT, amoníaco, olores y gérmenes) y, donde sea aplicable, una instalación de eliminación. Son habituales intercambios de aire de tres a cuatro veces por hora;
- c. purificar el aire extraído o reutilizarlo, por ejemplo, como aire de alimentación para la degradación biológica;
- d. mantener baja la contaminación del aire extraído:
 - evitando rutas de tráfico a través del área de entrega,
 - usando superficies y equipos de trabajo de fácil limpieza,
 - minimizando el tiempo de almacenamiento de los residuos en el área de entrega,
 - limpiando el suelo de las salas regularmente, con un aspirador industrial o un sistema de barrido-aspirado,
 - limpiando los parasoles, las cintas transportadoras y otros equipos una vez por semana como mínimo;
- e. usar una combinación de puertas automáticas de acción rápida e instalaciones de «cortina de aire» que, en la práctica, pueden actuar también como un cerrojo, manteniendo los tiempos de apertura al mínimo necesario. Puede ser de ayuda la inserción de puertas corredizas controladas por sensores o puertas extensibles y el dimensionado correcto del área de maniobras frente a la sala. Debe reconocerse que la disciplina del personal de la sala y de la flota de vehículos es igualmente importante para poder obtener tiempos cortos de apertura. También debe garantizarse que se realiza un mantenimiento suficiente de las puertas, según sea necesario y que se ciñan al funcionamiento adecuado. La instalación de una cortina de aire crea una especie de cortina de aire que rodea la puerta abierta y evita le entrada de aire procedente de la sala. Para un búnker subterránea, en la que los vehículos se aproximan marcha atrás y descargan, la instalación de una cortina con el perfil del vehículo detrás de la puerta real puede ser una forma de minimizar el intercambio de aire durante la descarga;
- f. cerrar los búnker de alimentación construidas con guías para vehículos; en almacenes abiertos y durante la descarga de vehículos, los gases residuales de la carbonera se extraen mediante succión y se llevan a una instalación de tratamiento de gases residuales.

Además, durante el almacenamiento y la manipulación, las siguientes medidas son adecuadas para la minimización del polvo:

- g. depositar el polvo mediante sistemas de desempañado, aunque no se trata de una técnica obligatoria;
- h. usar succión en las fuentes puntuales de extracción y para el aire de la sala, con un desempolvado posterior;
- i. instalar una cubierta para la cinta transportadora;
- j. evitar o minimizar grandes alturas de caída en las transmisiones entre cintas;

- k. usar agregados de conminución de funcionamiento lento;
- l. limpiar regularmente las áreas de agregación, los suelos de las salas y las vías de transporte,
- m. usar una instalación de lavado de neumáticos para evitar la dispersión de los residuos hacia áreas exteriores a la instalación por parte de los vehículos.

Debe evitarse la descomposición anaerobia en el almacenamiento de materiales residuales procedentes de una estación de transferencia o instalaciones de servicios públicos con altas concentraciones de restos de siega de hierba durante los períodos cálidos y húmedos. Habitualmente la hierba tiene un gran contenido de humedad y forma películas que impiden la entrada de oxígeno. Si los residuos se han acumulado en una estación de transferencia durante un día, aproximadamente, y luego se han vertido en un contenedor y almacenado en una pila en condiciones climatológicas húmedas, se crearán condiciones anaerobias. Otra posibilidad para la entrada de humedad es a través de pilas de compostaje no protegidas tras un período prolongado de condiciones climáticas húmedas, lo que causa el cese de la descomposición aerobia, de forma que las pilas deben protegerse o cubrirse adecuadamente.

Beneficios ambientales obtenidos

En los sistemas de tratamiento biológico de residuos líquidos es importante que el flujo de sustrato sea relativamente constante para mantener un correcto funcionamiento; en caso contrario se pueden producir emisiones inesperadas. Algunas técnicas se centran en evitar las emisiones a la atmósfera. Por ejemplo, pueden producirse aumentos de temperatura en las pilas de residuos que contienen materia orgánica, debido a su mayor actividad, en breves períodos de tiempo, lo que puede provocar emisiones a la atmósfera (C total, olores).

Debido a las mayores temperaturas dentro de la sala, en invierno se forma un perfil de flujo de aire en las puertas, con aire caliente que sale por la parte superior de la apertura y aire frío que entra por la parte inferior.

Los restos de residuos pueden contener grandes cantidades de partículas de grano fino. Por tanto, se pueden esperar considerables emisiones de polvo en el búnker en los procesos de vertido y de carga con herramientas móviles, procesos que deben realizarse lo más cerca posible de la fuente.

Datos operativos

Las áreas de almacenamiento se acostumbran a llenar a partir de camiones cisterna o bien mediante tuberías desde la fuente.

Aplicabilidad

A causa de la gran variedad de procedimientos de tratamiento biológico que aquí se consideran, así como de tipos de residuos (por ejemplo, que contienen componentes volátiles, olores), algunas técnicas pueden no ser aplicables a algunos tratamientos biológicos (por ejemplo, fango activado, lagunas aireadas, tratamiento mecánico-biológico, biorremediación in situ, suelos y fangos contaminados con aceites, producción de biogás para su uso como combustible, etc.). Algunas excepciones de aplicabilidad identificadas en las técnicas presentadas en el apartado Descripción, son las siguientes:

- la técnica b para los últimos pasos del tratamiento biológico o tras el tratamiento,
- la técnica e se aplica habitualmente a residuos de forma que no se emitan olores,
- la técnica f se aplica habitualmente a residuos que generan olores muy intensos.

Motivo principal para su aplicación

Asociada a la técnica b descrita anteriormente, la ley regional italiana permite tres o cuatro intercambios de aire en la zona en que trabajan los operadores; en áreas en que no trabajen operadores, se acostumbran a aplicar dos intercambios de aire por hora. La técnica f implica un requisito especial de la TA Luft para instalaciones de fermentación y una provisión general de la normativa alemana 30 BImSchV. La técnica m también es una provisión general de la normativa alemana 30 BImSchV.

Bibliografía

[56, Babbie Group Ltd, 2002], [132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.2.3 Selección de las materias primas para sistemas biológicos

Descripción

Algunos aspectos a considerar son:

- a. la presencia de sustancias no sometidas a un tratamiento beneficioso, como los metales pesados, cuya entrada debe limitarse en los procesos biológicos. Algunos tratamientos mecánicos pueden ayudar a superar tales limitaciones;
- b. la adición de aguas residuales a la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales aumenta la concentración de nutrientes y añade humedad. Otros residuos que pueden presentar ventajas son los residuos orgánicos industriales, los residuos de procesamiento de productos alimentarios y los residuos agrícolas;
- c. aunque el proceso sea, por sí mismo, un aspecto importante, la calidad de la materia prima es lo que, probablemente, tenga un efecto mayor y, por tanto, es vital maximizar su calidad. Tanto el tipo de residuos admisible como los procesos de separación son importantes. Algunas técnicas son:
 - obtención del equilibrio correcto en el contenido de nutrientes (por ejemplo, contenido de nitrógeno frente a contenido de carbono);
 - minimización de la presencia de materiales tóxicos y no deseados (incluyendo metales pesados, patógenos y materiales inertes);
 - reconocimiento de que cualquier componente no biodegradable de los residuos que se introduzca en el digestor anaerobio, y que no resulte afectado por el proceso, sólo ocupa un espacio innecesario. Para maximizar las ventajas de esta técnica (ambientales y económicas) y para minimizar su coste es importante minimizar la presencia de tales componentes en la materia prima para la digestión anaerobia;
- d. no mezclar tipos de residuos diferentes si no se ha demostrado que es adecuado. Este aspecto está relacionado con el apartado 4.1.5;
- e. un aprendizaje continuo sobre la influencia de las características de los residuos sobre los ajustes operativos, como por ejemplo, el nivel de agregación, el flujo másico, los volúmenes, las variables de degradación biológica (por ejemplo, temperatura, CO₂) y las emisiones gaseosas medida (por ejemplo, uso de datos de emisión de adquisición continua, para gas sin tratar o gas limpio), COV y metano para la configuración de los ajustes, es decir, el control automático de los procesos biológicos.

Beneficios ambientales obtenidos

Evita que se introduzcan compuestos tóxicos en los sistemas biológicos (tóxicos en términos de reductores de la actividad biológica). Un buen equilibrio del contenido de nutrientes, por ejemplo, evita emisiones de compuestos de nitrógeno.

Si se separan las partes biológicamente no activas de la materia prima, estos flujos pueden reutilizarse o reciclarse fácilmente (como vidrio o metales).

Efectos cruzados

La adición de fangos de alcantarillado a la fracción orgánica de los RSM puede provocar efectos negativos en el propio tratamiento biológico, en la calidad de los gases extraídos generados durante el tratamiento biológico o en la calidad de los residuos de salida.

Datos operativos

En el caso de la técnica c (véase el apartado Descripción más arriba) se realiza un secado biológico integral de los residuos municipales, ya que habitualmente la presencia de plásticos y de otros materiales no biodegradables puede representar una ventaja para la aireación, evitando la formación de zonas anaerobias, lo que lleva a emisiones menores.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [59, Hogg, et al., 2002], [150, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.2.4 Técnicas genéricas para la digestión anaerobia**Descripción**

Algunas técnicas son:

- a. disponer de una integración estrecha entre la gestión de residuos y la gestión del agua. Esto ayudaría a desarrollos futuros y en la gestión, para realizar mejoras y recolectar datos;
- b. reciclar la máxima cantidad de aguas residuales en el reactor, para facilitar la conversión de material orgánico en biogás;
- c. operar el sistema en condiciones de digestión termofílicas, para aumentar la destrucción de patógenos, la velocidad de producción de biogás (con el consiguiente aumento de valorización energética) y el tiempo de retención;
- d. medir las concentraciones de COT, DQO, N, P y Cl en los flujos de entrada y de salida, para equilibrar la materia introducida y garantizar una correcta producción de metano;
- e. controlar los parámetros relevantes en el agua de digestión, restos de digestión y aguas residuales a intervalos regulares, para garantizar un buen funcionamiento de la instalación;
- f. disponer de búnker de alimentación cerradas, construidas con guías para vehículos. En almacenes abiertos y durante la descarga de los vehículos, el gas residual de los búnker debe extraerse mediante succión y llevarse a la instalación de tratamiento de gases residuales;
- g. tener espacio suficiente, especialmente para el área de almacenamiento, basado en una estimación del uso mensual;
- h. diseñar, construir y operar la instalación para evitar la contaminación del suelo por aguas de alcantarillado;
- i. reutilizar los vapores condensados de agua procedentes de la ventilación de las pilas de compostaje (proceso de maduración) y el agua acumulada, sólo en el caso de tratamientos de digestión anaerobia, para humidificar los residuos sólidos y en el caso de que puedan evitarse molestias olfativas.

Aunque los sistemas anaerobios pueden funcionar por etapas, para reducir la DQO global en los efluentes, normalmente funcionan para una producción eficiente de metano y el efluente líquido tiende a ser más concentrado que los efluentes de los sistemas aerobios y necesita una etapa final de tratamiento aerobio. Éste se puede realizar a través de un vertido al alcantarillado o mediante una segunda etapa en el proceso de la instalación.

Beneficios ambientales obtenidos

Aumenta la eficacia de la digestión anaerobia y permite un mejor uso de sus productos. La minimización de la cantidad de materiales potencialmente tóxicos también es un aspecto importante para la calidad del producto final. Los sistemas anaerobios son efectivos para romper compuestos cíclicos (como los fenoles) y generan metano que puede usarse como combustible. Sin embargo, no todos los compuestos obtenidos por la descomposición anaerobia de anillos aromáticos (como los compuestos xenobióticos) pueden mineralizarse en condiciones anaerobias. Por tanto, las etapas de tratamiento anaerobio deben estar seguidas de una etapa de degradación aerobia para conseguir la completa mineralización de la materia orgánica.

Se pueden alcanzar emisiones de olores de 500 – 1000 GE/m³ en el tratamiento anaerobio mediante una combinación adecuada de biofiltros y reactores si el contenido de NH₃ es superior a 30 mg/Nm³.

Efectos cruzados

El uso de fangos en la digestión anaerobia debe decidirse caso por caso, ya que la concentración de metales pesados en los fangos puede provocar dificultades al operador para cumplir los estrictos valores límite para productos compostados de calidad que existen en algunos países de la UE.

Datos operativos

Se afirma que la gran flexibilidad asociada a la digestión anaerobia es una de las ventajas más importantes del método, ya que puede tratar diversos tipos de residuos, desde húmedos a secos y de sustancias orgánicas limpias a residuos grises. Por ejemplo, la adecuación del método para materiales muy húmedos se ha valorado como una característica importante en las situaciones en que residuos alimentarios separados en origen no pueden mezclarse con cantidades suficientes de aglomerantes como residuos vegetales (concretamente, residuos de muchas áreas metropolitanas). Los sistemas biológicos anaerobios son sensibles a compuestos de cloro y de azufre, al pH y a fluctuaciones de temperatura y pueden necesitar una etapa previa de acidificación.

El reciclaje de aguas residuales (la técnica b en el apartado Descripción anterior) puede provocar un aumento de la concentración de compuestos tóxicos o inhibidores con los consiguientes efectos negativos para el tratamiento biológico.

Las condiciones de la digestión termofílica (la técnica c en el apartado Descripción anterior) pueden no resultar útiles o posibles para todas las aplicaciones (por ejemplo, las adaptaciones de comunidades de microorganismos para la degradación de compuestos clorados aromáticos o la dechloración de compuestos xenobióticos específicos no puede lograrse en condiciones termofílicas, ni ninguna población microbiana termofílica puede adaptarse a los compuestos a tratar).

En determinadas circunstancias, es necesario controlar parámetros relevantes del agua de digestión, de los restos de digestión y de las aguas residuales a intervalos regulares, para garantizar un buen funcionamiento de la instalación (técnica d en el apartado Descripción anterior). En estos casos los parámetros mencionados no son suficientes para el control del proceso. Según el objetivo del tratamiento (vertedero, fertilizantes) los parámetros para el control de salida deben fijarse en función de su uso futuro.

Aplicabilidad

La principal preocupación en la digestión anaerobia es la garantía del rendimiento a largo plazo de la instalación, que, evidentemente, es fundamental para su viabilidad económica. El riesgo puede reducirse con desarrollos tecnológicos, aunque sus costes asociados pueden afectar a los aspectos económicos a corto plazo. La construcción de más instalaciones en el futuro ampliará los conocimientos operativos del método y puede hacer aumentar la confianza en él (véase el apartado 4.1.2.2). La técnica e en el apartado Descripción anterior es adecuada para reducir las emisiones de olores.

Aspectos económicos

Los costes de inversión específicos acostumbran a ser muy superiores a los de la digestión aerobia. Disponer de una integración estrecha entre la gestión de residuos y la gestión del agua ayudaría a desarrollos futuros y reduciría los costes adicionales asociados al vertido de las aguas sobrantes de la digestión anaerobia en una planta de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, en realidad en Europa sólo sucede raramente, la mayoría de las veces cuando en el proceso están implicadas redes de distribución de agua.

Motivo principal para su aplicación

Mejor gestión de los procesos y requisitos de la Directiva sobre vertederos. Las técnicas e a h en el apartado Descripción anterior son requisitos de las normativas alemanas TA Luft y la técnica e es necesaria para reducir los olores.

Instalaciones de ejemplo

Actualmente este método de tratamiento es relativamente escaso (sólo forma parte de las estrategias de gestión de residuos en cuatro estados: Alemania, Austria, Bélgica y Dinamarca, aunque se pueden hallar algunas aplicaciones en residuos mezclados o restos en Francia, España e Italia, y en el Reino Unido existe una pequeña instalación en funcionamiento). Los desarrollos

recientes en la separación en origen en España e Italia apuntan hacia una visión optimista para la disponibilidad futura de materias primas de calidad.

También cabe destacar que la digestión anaerobia está experimentando el mayor crecimiento en la demanda de toda Europa en España, gracias a la financiación pública de las instalaciones a través de los programas de la UE. Esta financiación reduce los costes globales de gestión, ya que la depreciación es uno de los aspectos económicos principales.

Bibliografía

[33, ETSU, 1998], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [59, Hogg, et al., 2002], [114, Hogg, 2001], [150, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.2.5 Aumento del tiempo de retención en los procesos de digestión anaerobia

Descripción

Consiste en dejar más tiempo al digestato en condiciones de degradación.

Beneficios ambientales obtenidos

Un mayor tiempo de retención permite una biodegradación más completa y, en consecuencia, una mayor calidad del digestato, lo que puede hacer aumentar la producción de biogás. Con una temperatura suficientemente alta y un tiempo de retención lo bastante largo se garantizará que el material está maduro, libre de bacterias patógenas y semillas y que generará menos emisiones de olores.

Efectos cruzados

Los beneficios obtenidos deben equilibrarse frente a una posible menor velocidad de carga, que reduce la producción y, por tanto, aumenta el coste económico por tonelada tratada.

Aplicabilidad

Un aumento de la producción de biogás acostumbra a afectar a la calidad del digestato y del biogás. Por tanto debe optimizarse la cantidad de biogás, la calidad del biogás y la calidad del digestato.

Bibliografía

[59, Hogg, et al., 2002], [150, GTT, 2004]

4.2.6 Técnicas para la reducción de emisiones cuando se usa biogás como combustible

Descripción

El biogás del fermentador se deshumidifica y se retiran las partículas sólidas antes de usarlo como combustible, ya sea interna o externamente. El biogás se puede usar en motores de gas, por ejemplo en centrales eléctricas de calefacción, calderas de gas o bien para otros usos como combustible en técnicas térmicas de disminución de COV. Se pueden seguir dos técnicas de reducción de las emisiones. El primer tipo consiste en limpiar el biogás antes de usarlo, para reducir las emisiones en su combustión; el segundo consiste en disminuir las emisiones tras la combustión del biogás. Aquí se consideran ambos tipos; algunas medidas específicas son:

- a. reducir las emisiones de sulfuro de hidrógeno lavando el biogás con sales férricas, añadiéndolas en el digestor, o mediante oxidación biológica con adición controlada de oxígeno;
- b. usar la reducción catalítica selectiva (RCS) (apartado 4.6.21) para reducir los NO_x;
- c. usar una unidad de oxidación térmica para reducir el CO y los hidrocarburos;
- d. usar filtros de carbón activo;

- e. equipar las instalaciones con almacenamiento para biogás y con un sistema de combustión en antorcha de emergencia.

Cabe señalar que al quemar en antorcha el biogás que no se puede usar in situ o que no se puede mejorar a calidad de gas natural, la temperatura de salida de los gases de combustión debe ser de 900 °C como mínimo y el tiempo de residencia de 0,3 s. La concentración máxima de compuestos de azufre en el biogás debe ser de 50 ppm o bien conseguir una eficacia de eliminación de por lo menos el 98 %.

Entre los procedimientos de disminución que pueden realizarse en una etapa de tratamiento independiente se encuentran los siguientes: procesos de lavado biológico (oxidación biológica de los sulfuros a azufre o ácido sulfúrico), lavado del gas con disolventes orgánicos o agua, filtros secos formados, por ejemplo, por laca de mineral de hierro, y adsorción, por ejemplo, con carbón activo.

En el BREF sobre grandes instalaciones de combustión se encuentran algunas indicaciones para instalaciones que usan biogás.

Beneficios ambientales obtenidos

Parámetro	Biogás	Gases de escape
AOX	<150	
CO		100 – 650 ¹
Polvo		<10 – 50
NO _x		100 – 500 ²
H ₂ S		<5
HCl		<10 – 30
HF		<2 – 5
Hidrocarburos		<50 – 150
SO ₂		<50 – 500

Datos en mg/Nm³ al 5 % de O₂
¹ cuando se usan máquinas de ignición por chispa con baja capacidad calorífica (por ejemplo, < 3 MW_{th}) el valor de 650 puede ser difícil de conseguir. En estos casos 1000 parece un valor más razonable.
² cuando se usan máquinas de inyección con una baja capacidad de quemado (por ejemplo, < 3 MW) el valor obtenido es de 1000. El extremo inferior del intervalo sólo se puede obtener con reducción.

Tabla 4.16: Valores de emisión obtenidos con el uso de buenas máquinas y técnicas de disminución
[54, Vrancken, et al., 2001], [117, DG Medio Ambiente, 2001], [132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

Efectos cruzados

La adición de sustancias como sales férricas u oxígeno en el reactor anaerobio puede ser contraproducente para el proceso de fermentación.

Datos operativos

El uso de catalizadores de oxidación (la técnica a en el apartado Descripción anterior) se usa habitualmente como una herramienta a corto plazo, debido a los problemas de corrosión que conlleva.

Aplicabilidad

Normalmente no es necesaria la limpieza del biogás (excepto la deshidratación y la extracción de sólidos) antes de la generación de calor o energía en motores de gas y limpieza de gases de combustión, según determinadas informaciones, para alcanzar los valores presentados en la tabla 4.16. Estos valores de emisión se consiguen habitualmente sólo con ajustes del motor. La única excepción señalada es la cofermentación del estiércol porcino. En general el biogás generado requiere un proceso de desulfurización a causa de su gran contenido de azufre, especialmente para evitar la corrosión de la unidad que use el biogás.

Aspectos económicos

Medidas secundarias para reducir las emisiones procedentes de los gases de combustión cuando se usa biogás como combustible. Se considera que no es económicamente viable ni ambientalmente justificado para instalaciones pequeñas cogeneradoras. Para reflejar este problema en Alemania, por ejemplo, las instalaciones de capacidad inferior a 3 MW_{th} tienen valores límite de emisión superiores.

Motivo principal para su aplicación

Al menos tres Estados miembros disponen de legislación que regula las emisiones al usar biogás como combustible.

Bibliografía

[54, Vrancken, et al., 2001], [117, DG Medio Ambiente, 2001], [132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.2.7 Aumento de la eficacia energética de generadores eléctricos y sistemas de digestión anaerobia

Descripción

Algunos aspectos a considerar son:

- a. para una buena eficacia energética es preferible un biogás con un contenido energético entre 20 y 25 MJ/Nm³;
- b. las eficacias de conversión eléctrica variarán en función de la instalación de combustión. La experiencia práctica con máquinas de combustión a pequeña escala de capacidad nominal inferior a 200 kW indican una eficacia de conversión eléctrica de aproximadamente el 25 %, las instalaciones mayores (de hasta 17.000 kW) pueden tener una mayor eficacia de conversión, de aproximadamente un 36 %. Si también existe la posibilidad adicional de calentar agua a partir de los gases de escape de la máquina, la eficacia de conversión global puede aumentar hasta un 65 – 85 %
- c. la instalación de máquinas de biogás con eficacias superiores al 30 % es fundamental para lograr una buena eficacia energética global.

Beneficios ambientales obtenidos

Aumento de la eficacia energética de los procesos de digestión anaerobia. En las siguientes dos tablas se muestran algunos datos sobre la producción de energía (tabla 4.16 y 4.17). Los intervalos de estas tablas son muy amplios y seguramente reflejan no sólo las diferencias de rendimiento entre instalaciones, sino también las diferencias entre las materias primas.

Fuente	Producción neta de energía (kWh/tonelada de residuos)		
	Mínima ¹	Promedio ¹	Máxima ¹
1		100	
2		102	
3		110	
4	80	110	140
5	75	113	150
6	100	115	130
7	105	131	157
8	120	145	170
9	100	150	200
10		154	
11	254	273	292

¹Si sólo se presenta una cifra, la referencia en cuestión no proporcionó un intervalo.

Tabla 4.17: Producción neta de energía que puede obtenerse con un funcionamiento óptimo de los procesos de digestión anaerobia
[59, Hogg, et al., 2002]

Parámetro	Valor bajo (kWh/t residuos)	Valor alto (kWh/t residuos)
Producción de biogás	70 Nm ³ /t residuos	140 Nm ³ /t residuos
Porcentaje de metano	55 %	60 %
Poder calorífico del biogás	385	840
Electricidad generada (eficacia del 30 %)	116	252
Electricidad para exportar (70 % de la electricidad generada)	81	176
Calor recuperado para cogeneración (70 %)	189	412
Calor exportado para cogeneración (80 % del recuperado)	151	329

Tabla 4.18: Generación de calor y electricidad a partir de la digestión anaerobia
[59, Hogg, et al., 2002]

Instalaciones de ejemplo

Existen numerosas instalaciones de digestión anaerobia en todo el mundo.

Bibliografía

[59, Hogg, et al., 2002]

4.2.8 Técnicas para mejorar los tratamientos mecánico-biológicos

Descripción

Algunas técnicas son las siguientes:

- a. usar filtros en la salida de aire para minimizar las emisiones de partículas;
- b. reducir las emisiones de compuestos de nitrógeno mediante la optimización del cociente C:N y el uso de reactores ácidos;
- c. evitar las condiciones anaerobias en instalaciones de tratamiento aerobio (allí donde los residuos se quedan en situación de ausencia de oxígenos, normalmente debido a su saturación); esto se puede conseguir:
 - introduciendo suficiente material leñoso en la mezcla (por ejemplo, astillas) y manteniendo abierta la estructura. Esto también ayuda a reducir el impacto de un exceso de nitrógeno;
 - evitando materiales residuales que tengan un gran contenido de agua y pocos intersticios por entre los cuales se pueda escurrir el agua por efecto de la gravedad;
- d. controlar el suministro de aire mediante un circuito de aire estabilizado. Se puede obtener un buen ajuste de la aireación controlando la concentración de CO₂ por segmento o mediante mediciones en línea de determinados parámetros (por ejemplo, O₂, temperatura, humedad, metano, COV, CO₂) del aire de alimentación o de escape. Esto garantiza un suministro suficiente de aire, independientemente de la composición de los residuos. El aire del proceso se recoge de las salas, el sistema de extracción, etc.;
- e. usar circulación de aire para aumentar la concentración de compuestos de carbono en el aire. Esto hace que el posquemado térmico sea una alternativa viable para un filtro biológico. Sólo en estas condiciones, es necesario tratar, por ejemplo, 2.500 – 8.000 Nm³ de aire por tonelada de residuos (véase también el apartado 4.2.11);
- f. determinar detalladamente las especificaciones de la materia prima;
- g. posicionar las pilas de compostaje de forma que permitan un buen acceso para la formación y el volteo;
- h. conseguir un equilibrio eficiente del agua para minimizar la producción de lixiviados;
- i. proporcionar suelos resistentes e impermeables en un área suficiente para que la maquinaria pueda voltear las pilas de compostaje y para que pueda instalarse un sistema de drenaje para recoger lixiviados;
- j. introducir una capa de drenaje de alta permeabilidad, por ejemplo, de astillas, en la construcción de las pilas de compostaje, de forma que permita el drenaje de los lixiviados y el paso de aire hacia el interior de las pilas;

- k. realizar provisiones para la recogida de lixiviados con sistemas de recirculación, para volver a introducirlos en las pilas de compostaje, de forma que se mantenga el contenido óptimo de humedad y se facilite el tratamiento de los lixiviados;
- l. tratar el agua de condensación mediante tampones, biorreactores y ultrafiltración. Las aguas residuales purificadas (el permeado) pueden usarse posteriormente como agua de proceso en el circuito de refrigeración y evaporarse en la torre de refrigeración;
- m. usar como combustible sólido la torta de filtración generada en los filtros de polvo del sistema de tratamiento del aire;
- n. aislar térmicamente el techo de las sala de degradación biológica en procesos aerobios, para minimizar la generación de condensados;
- o. reciclar las aguas de proceso o residuos fangosos dentro del proceso de tratamiento aerobio, para evitar completamente las emisiones a cursos de agua;
- p. instalar y operar sistemas de transporte y almacenamiento, así como equipos de tratamiento interno para aguas de proceso y condensados de vapor, de forma que no den lugar a emisiones difusas (fugitivas) relevantes;
- q. pretratar la materia prima del tratamiento biológico para optimizarlo. Esto puede englobar técnicas mecánicas como separar sustancias que son poco adecuadas para un tratamiento biológico, sustancias que interfieran en el proceso y sustancias contaminantes, así como optimizar la degradación biológica de los residuos restantes aumentando la disponibilidad y la homogeneidad;
- r. controlar las emisiones a la atmósfera de compuestos orgánicos, materia particulada, olores, óxido nitroso (N_2O) y dioxinas. Algunas técnicas para este tipo de control se mencionan en el apartado 4.2.116.

Beneficios ambientales obtenidos

Las instalaciones de TMB son muy flexibles y pueden construirse de forma modular. Algunas de las técnicas anteriores evitan las emisiones de olores, de nitrógeno y de metano.

Los procesos biológicos optimizados combinan una reducción de las emisiones al agua y a la atmósfera durante el tratamiento en la instalación. Además, otro beneficio ambiental es que los residuos pretratados biológica y mecánicamente se caracterizan por una clara reducción de volumen, contenido de agua y potencial de formación de gases, y tienen un impacto significativo en mejorar el comportamiento de lixiviación y de asentamiento de los vertederos. Otro beneficio es que se separa un flujo de residuos de alto poder calorífico, flujo que puede ser incinerado con recuperación de energía.

Los tratamientos mecánicos y físicos usados como pretratamiento para optimizar las condiciones del tratamiento biológico posterior (por ejemplo, mezcla, homogeneización, humidificación) se ajustan para mejorar la separación de materiales valiosos (por ejemplo, materiales ferrosos), materiales inhibidores o materiales para los cuales el tratamiento biológico no es adecuado. A veces la separación mejora más de un tipo de material mencionado.

En relación con la técnica c (véase el apartado Descripción anterior) puede resultar interesante una cantidad controlada de condiciones anaerobias en un proceso bien regulado de tratamiento aerobio, debido a la producción de metano, que puede usarse como entrada de energía en tratamientos térmicos regenerativos de los gases de escape (y si, además, la calidad de los residuos salientes aún cumple los requisitos, el tratamiento de los gases de escape resulta optimizado y las medidas de seguridad –prevención de explosiones y seguridad para los empleados– son suficientes).

Efectos cruzados

Las emisiones de COV procedentes del TMB no pueden evitarse, a causa de la presencia de COV en los residuos entrantes y los COV generados en el proceso biológico. Por tanto, los requisitos como encerrar totalmente los biorreactores, recoger el aire de escape y aplicarle un tratamiento efectivo (valores límite de emisión), permiten reducir tales emisiones. Los sistemas aerobios (TMB) son adecuados para tratar residuos que contienen COV. Además, los sistemas anaerobios pueden generar residuos pretratados correctamente, pero aún con un alto potencial de emisiones (amoníaco y otros compuestos generados durante el tratamiento anaerobio) y una

gran reactividad biológica (bajo condiciones aerobias posteriores). Por lo tanto, acostumbra a ser necesaria una combinación de etapas de tratamiento anaerobio (pretratamiento) y aerobio.

Por lo que respecta a la técnica c del apartado Descripción anterior, sobre la introducción de suficiente material leñoso, en los TMB suele haber suficiente material estructural en la materia prima (RSM). La introducción de materiales leñosos puede provocar problemas para cumplir los criterios de vertido (por ejemplo, COT).

En relación con la técnica e, cuando el aire de recirculación tiene una gran humedad, el tratamiento del aire de escape puede causar problemas. En tal caso, es necesario condensar el vapor de agua y, por tanto, el agua condensada debe tratarse y es necesario un sistema de refrigeración para condensarla.

Por lo que respecta a la técnica o del apartado Descripción, el tratamiento aerobio debe tener en cuenta que la acumulación de sustancias recicladas puede conllevar efectos no deseados (salinización → efectos inhibidores, reciclaje de compuestos de N → mayores emisiones de compuestos de N, como amoníaco u óxido nítrico).

Datos operativos

Los sistemas biológicos aerobios acostumbran a ser más robustos que los anaerobios, y menos sensibles a los compuestos de cloro y de azufre, a las fluctuaciones de pH y de temperatura y no necesitan una etapa previa de acidificación.

Las buenas prácticas de funcionamiento determinarán si la instalación sigue siendo aerobia o no. Para el operador lo mejor es poder mantener las condiciones aerobias, para evitar problemas de olores y acelerar los ritmos de digestión aerobia. Las condiciones anaerobias pueden llevar a problemas ocasionales (no a sucesos regulares) que deben registrarse en el diario de la instalación.

Cuando la humedad relativa del aire de escape es alta (más del 90 %), la emisión de partículas es baja.

Aplicabilidad

El tratamiento biológico y mecánico se usa ampliamente en el tratamiento de RSM, fangos y otros tipos de residuos. Los sistemas aerobios pueden no ser adecuados para tratar residuos que contengan COV, que pueden emitirse a la atmósfera. Los sistemas aerobios son menos efectivos que los anaerobios en descomponer los compuestos cíclicos (como los fenoles).

Motivo principal para su aplicación

Los criterios de aceptación de la Directiva de Vertederos para residuos biodegradables. Estos criterios están pensados para disminuir el contenido biodegradable de los residuos, lo que conlleva una reducción significativa de emisiones de gases y lixiviados en los vertederos.

Instalaciones de ejemplo

Ampliamente usado en Europa. Los sistemas aerobios se usan para reducir el contenido de humedad y putrescible de todos los residuos antes de su vertido o para la producción de combustibles derivados de desechos. Se trata de una práctica habitual en Europa antes del vertido.

Bibliografía

[31, Greenpeace, 2001], [54, Vrancken, et al., 2001], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [59, Hogg, et al., 2002], [114, Hogg, 2001], [116, Irish EPA, 2003], [132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.2.9 Digestión aerobia de lechadas

Descripción

Tratamiento biológico de lechadas.

Beneficios ambientales obtenidos

Un proceso de ejemplo es un proceso por lotes en dos etapas, usado para tratar creosota residual. Este proceso implica suspender la creosota residual en un recipiente con surfactantes durante siete días con un contenido en sólidos del 20 % y, luego, transferir el sobrenadante a un reactor de pulido para 14 días más de tratamiento biológico. Esto consigue la reducción de hidrocarburos aromáticos policíclicos que se muestra en la tabla 4.19:

Constituyente	Concentración inicial (ppm)	Concentración final (ppm)
Fenantreno	13.000	< 100
Fluoreno	7.000	< 100
Fluoranteno	8.000	< 500
Pireno	6.000	< 500
Benzo(a)pireno	9.000	< 100
Benzo(b)fluoranteno	13.000	< 500
Benzo(a)antraceno	11.000	< 100

Tabla 4.19: Reducción comunicada de aromáticos policíclicos [53, LaGrega, et al., 1994]

Efectos cruzados

La agitación no sólo homogeneiza los purines, sino que también fomenta la volatilización de contaminantes.

Aplicabilidad

Los residuos pueden ser fangos o sólidos. Se aplica en el tratamiento de residuos de conservantes de la madera, residuos de creosota, fangos de refino de petróleo y suelos contaminados.

Bibliografía

[53, LaGrega, et al., 1994]

4.2.10 Control de la aireación en la degradación biológica

Descripción

Algunas técnicas son:

- a. aplicar una operación en sobrepresión
 - tiene las siguientes ventajas:
 - menor riesgo de humectación y compactación del suelo de aireación
 - flujos de aire rectificadas y emisión térmica natural
 - pocos requisitos para la construcción del suelo de aireación
 - sin embargo, también hay inconvenientes:
 - mezcla del aire de la pila y de la sala
 - entrada de aire a la sala saturado con vapor de agua
 - accesibilidad limitada de la sala
 - elevada corrosión de los elementos constructivos y de la maquinaria, con mayor abrasión y costes de mantenimiento
 - imposibilidad de determinar los parámetros de proceso del aire de escape
 - control de la degradación biológica sólo posible mediante mediciones indirectas y experiencia
 - imposibilidad del tratamiento y purificación por separado del aire de escape de la sala y de la pila
- b. aplicar una operación en succión (infrapresión)

- la operación en succión tiene, en comparación con la operación en sobrepresión, las siguientes ventajas:
 - contaminación mínima del aire de la sala con el de las pilas
 - poca corrosión de los elementos constructivos y la maquinaria
 - accesibilidad de la sala durante la operación de las pilas
 - posibilidad de determinar los parámetros de proceso del aire de escape de las pilas
 - posibilidad de la recolección y tratamiento por separado del aire de las pilas
 - los inconvenientes de la operación en succión son:
 - mayores requisitos para la construcción del suelo de aireación
 - peligro de humectación de la distancia y la capa de aire de difusión
- c. disponer suelos de aireación con ranuras y una bodega para garantizar una aireación uniforme de todo el volteo/movimiento;
- d. adaptar la aireación a la actividad de biodegradación del material mediante segmentación del área de degradación biológica en campos de aireación controlables e independientes. Regular, asimismo, la cantidad de aire por campo de aireación en función de la temperatura y del contenido de oxígeno, mediante ventiladores controlados en frecuencia o mediante funcionamiento cíclico alterno;
- e. garantizar la presencia de un flujo uniforme a través del material biodegradado en suelos con sistema de túneles, mediante tuberías perforadas integradas y presiones relativamente altas;
- f. usar intercambiadores de calor para disminuir la temperatura y humedad de los gases de escape, para garantizar la eliminación de calor en el sistema de aire circulante.

Beneficios ambientales obtenidos

Los objetivos de la aireación son:

- garantizar un contenido de oxígeno suficiente en la pila,
- evitar la formación de metano en áreas anaerobias,
- verter todo el metano generado,
- extraer el calor de reacción emitido,
- permitir el secado biogénico (en instalaciones de TMB con estabilización en seco).

Efectos cruzados

Los objetivos antes mencionados deben equilibrarse con el objetivo contrario de minimizar la cantidad de aire y las pérdidas por evaporación.

Datos operativos

En sistemas biológicos estáticos, no hay recambio. En general, la regla válida es que cuanto más cortos sean los intervalos de recambios (con hidratación simultánea) mayor es el peligro de desecación de la pila. La hidratación de la pila sin un volteo frecuente sólo humidifica las capas cercanas a la superficie.

Aplicabilidad

En sistemas encapsulados, como los de túnel, caja o contenedor, la aireación de los productos biológicamente degradados se realiza bajo presión y mediante aire circulante. En los sistemas de sala se usan tanto los sistemas a presión como los sistemas de succión.

Aspectos económicos

Los costes de inversión en la construcción de un suelo de aireación con placas ranuradas y bodega son entre un 40 y un 50 % superiores a los de otros sistemas disponibles (por ejemplo, tubos de aireación o canales en el fondo de la sala).

Bibliografía

[132, UBA, 2003]

4.2.11 Gestión de los gases de escape en el TMB

Descripción

Un buen sistema de gestión del aire o gases de escape contiene los elementos siguientes:

- a. recolección independiente de los flujos parciales del aire de escape;
- b. minimización de los gases de escape mediante guías circulares de uso múltiple o de uso en cascada;
- c. minimización de los gases de escape mediante la degradación anaerobia de sustancias orgánicas (fermentación con uso de biogás en lugar de la digestión anaerobia);
- d. tratamiento de los flujos parciales con una combinación de tratamientos biológicos, químicos, físicos y térmicos;
- e. reducción de las emisiones de aire de escape a 2.500 - 8.000 Nm³ por tonelada de residuos, mediante la instalación de guías circulares en los intercambiadores de calor y mediante la eliminación del calor de exceso como precondition para una guía circular efectiva;
- f. máxima reutilización posible del aire de escape. El aire restante debe tratarse antes de expulsarse a la atmósfera;
- g. tratamiento del gas de escape procedente del área de entrega, como búnkers superficiales y subterráneas, con o sin tratamiento mecánico de los residuos entregados o reciclaje del gas como suministro de aire (aire de proceso) para la degradación biológica;
- h. instalación en salas cerradas con cierres estancos o instalaciones equivalentes de los puntos de descarga, búnkers de alimentación y de recepción u otros equipos de entrega, transporte y almacenamiento de las sustancias de entrada. El objetivo de esta medida es minimizar las emisiones difusas. En espacios cerrados esto se logra mediante succión del área estanca de forma que la presión ambiental se mantenga por debajo de la atmosférica;
- i. para máquinas, aparatos u otros equipos utilizados en el tratamiento mecánico o en la separación física de los residuos (por ejemplo, el triturado, la clasificación, la separación, la mezcla, la homogeneización, la deshidratación, el secado, la granulación o el prensado), el sistema de gestión debe garantizar la minimización de las emisiones difusas potenciales mediante el encapsulamiento o la succión (succión en el punto focal) de los agregados individuales;
- j. uso de contenedores cerrados para la retirada de mercancías que emitan polvo;
- k. uso de sistemas encapsulados o encerrados para el transporte y tratamiento de restos de fermentación. El aire de escape de estos sistemas debe recogerse (succión en sala y en origen) de forma que pueda reutilizarse en el proceso o tratarse;
- l. separación del caudal total a tratar en gases de escape altamente contaminados y aire de escape poco contaminado. De esta forma, la elección de un sistema adecuado para el tratamiento de aire de escape poco contaminado pero potencialmente maloliente tiene un papel principal en las instalaciones de TMB con degradación biológica a largo plazo. Sin embargo, el sistema se completa con componentes adicionales, como un reactor ácido (absorción de amoníaco), un filtro de polvo y una instalación de oxidación para el tratamiento de los flujos más contaminados, básicamente procedentes de la etapa de degradación prebiológica. El tipo de instalación de oxidación (térmica, química o física) y la cantidad de gases de escape procedentes de la degradación prebiológica que debe tratarse deben adaptarse a la idea del proceso elegida y establecida en cada caso particular;
- m. supervisión en línea de las emisiones de gases de escape y uso de los datos para ajustar los procesos biológicos;
- n. uso de sistemas de absorción/desorción y de combustión en caso de que la concentración de compuestos de carbono sea baja.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce el uso de aire y las emisiones de aires de escape.

Datos operativos

La gestión de los gases de escape afecta tanto a la construcción como al diseño de procesos de la instalación. Los siguientes factores tienen una importancia básica en cualquier estrategia de gestión de los gases de escape:

- minimización del volumen de las salas,
- segmentación de las unidades operativas,
- medidas cercanas a la fuente para la minimización activa y pasiva de las emisiones.

Aplicabilidad

Tratamientos mecánico-biológicos (TMB)

Bibliografía

[132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.2.12 Técnicas de disminución para tratamientos biológicos

La tabla 4.20 muestra las técnicas de disminución en aire para las que se ha informado de su aplicación en instalaciones de tratamiento biológico. Se describen detalladamente en el apartado 4.6.

Técnica	Apartado en el que se trata
Prevención genérica	apartado 4.6.1
Adsorción	apartado 4.6.7
Biofiltros	apartado 4.6.10
Lavado químico	apartado 4.6.12
Procesos de baja oxidación	apartado 4.6.13
Incineración	apartado 4.6.14
Combustión catalítica	apartado 4.6.16
Oxidación térmica regenerativa	apartado 4.6.18
Tratamiento no térmico con plasma	apartado 4.6.20

Tabla 4.20: Técnicas de disminución en aire usadas en instalaciones de tratamiento biológico

4.3 Técnicas para tratamientos físico-químicos

Este apartado contiene técnicas que se considera que tienen un buen rendimiento operativo ambiental (por ejemplo, uso de un buen sistema energético) o que pueden ayudar a obtener un buen rendimiento ambiental (por ejemplo, sistemas de gestión ambiental). Las técnicas de este apartado están relacionadas con los tratamientos físico-químicos descritos en el apartado 2.3.

4.3.1 Técnicas usadas en instalaciones de tratamiento físico-químico de aguas residuales

4.3.1.1 Planificación de la operación de una instalación de tratamiento físico-químico

Descripción

Deben seguirse los principios detallados a continuación:

- a. todas las instalaciones de medición y control deben ser de fácil acceso y fácil mantenimiento;
- b. debe establecerse un sistema de control y análisis;
- c. la inspección en la recepción debe adaptarse a la información contenida en el análisis declaratorio de la prueba de eliminación de residuos y a la orden de proceso incluida en cada tratamiento particular;
- d. debe evitarse al máximo la generación de aguas residuales mediante medidas constructivas; por ejemplo, techar el área de recepción;
- e. para evitar mezclas no deseadas, los contenedores de reacción también deben servir como contenedores de almacenamiento;
- f. debe facilitarse una correcta capacidad de almacenamiento, ya que el tiempo de demanda y de entrega no acostumbran a coincidir;
- g. la idea básica de la instalación debe permitir potenciales modificaciones o ampliaciones;
- h. la recogida y transporte de los residuos, así como su entrega (cantidad, tiempo) debe ajustarse a la operación;
- i. debe contactarse con los productores y los distribuidores para cualquier información y datos técnicos (por ejemplo, referentes a los contenedores, tuberías, bombas, válvulas o filtros);
- j. la planificación y la construcción (especialmente por lo que respecta a cuestiones legales) debe discutirse en las primeras etapas con las autoridades responsables y con los departamentos de planificación técnica.

Beneficios ambientales obtenidos

Se reducen las emisiones, ya que el tratamiento correcto se determina en la instalación de tratamiento físico-químico.

Datos operativos

El diseño de una instalación de tratamiento físico-químico se realiza de una forma clara que sigue el flujo de materia. Por ejemplo, es necesario distinguir dos casos claramente diferentes:

1. dimensionado de una instalación que trata tipos de residuos similares,
2. dimensionado de una instalación que trata tipos de residuos diferentes.

En el caso (1) la instalación puede desarrollarse mediante experimentos específicamente diseñados para los requisitos de los residuos. Las etapas necesarias del proceso pueden probarse individual o conjuntamente; el resultado es una solución óptima de tratamiento. En el caso (2) deben planificarse diferentes procesos de tratamiento que lleven a un tratamiento óptimo cuando se aplican conjuntamente. Además, mientras que en el caso (1) parecen adecuadas instalaciones de funcionamiento continuo, en el caso (2) se recomienda un funcionamiento discontinuo, a causa de la tecnología y el modo de funcionamiento necesarios para los diferentes comportamientos reactivos de los residuos.

Aplicabilidad

Es aplicable en instalaciones nuevas.

Bibliografía

[157, UBA, 2004]

4.3.1.2 Técnicas para los reactores de tratamiento físico-químico

Descripción

Algunas técnicas son:

- a. definir claramente los objetivos y la química de la reacción prevista para cada proceso de tratamiento. Es necesario definir un criterio de valoración del proceso, de manera que la reacción pueda monitorizarse y controlarse. También es necesario definir las entradas adecuadas para el proceso y el diseño debe tener en cuenta las probables variables previstas dentro de la corriente de residuos;
- b. evaluar cada conjunto nuevo de reacciones y las mezclas de residuos y reactivos propuestas antes del tratamiento en una mezcla de prueba, a escala de laboratorio, de los residuos y los reactivos que se van a usar. Hay que trasladar a escala real todas las reacciones que ocurrirán durante el tratamiento y por tanto hace falta preparar la mezcla de residuos siguiendo una «receta» de lotes predeterminada. Ésta debe tener en cuenta los efectos de la ampliación, por ejemplo, el incremento del calor de reacción con el aumento de masa de la misma respecto al volumen del reactor, el mayor tiempo de residencia dentro del reactor, los cambios en las propiedades de la reacción, etc.
- c. diseñar y hacer funcionar específicamente la vasija del reactor de manera que sea apta para el uso previsto. Tales diseños tienen que incluir consideraciones sobre los riesgos del proceso químico, una evaluación del riesgo de las reacciones químicas, consideraciones sobre las medidas de prevención y protección apropiadas, junto con el estudio de la gestión del proceso planificado, o sea las instrucciones de funcionamiento, la formación del personal, el mantenimiento, los controles, las auditorías y los procedimientos de emergencia;
- d. cerrar todos los recipientes de tratamiento y reacción y asegurarse de que estén ventilados a través de un sistema apropiado de depuración y disminución;
- e. cuando sea apropiado, garantizar que los recipientes del reactor (o los recipientes de mezcla donde se realiza el tratamiento) estén cargados con los residuos previamente mezclados y los reactivos. Por ejemplo, algunos recipientes del reactor pueden necesitar un tratamiento previo con cal o que se carguen primero con el reactivo básico para controlar la reacción, usando por ejemplo una solución de hidróxido cálcico preparada antes de cargar la vasija del reactor;
- f. evitar la decantación de los sacos o los bidones directamente en el recipiente. Esta práctica puede llevar a:
 - «puntos calientes» de concentración en la superficie de la solución de la reacción,
 - una pérdida de control de la reacción,
 - la emisión de gases debido a la reacción instantánea en la interfase,
 - el escape de los gases por la ventanilla abierta, saltándose la reducción apropiada.
- g. hacer un seguimiento de la reacción para asegurarse de que esté bajo control y proceda hacia el resultado previsto. Para este propósito, los recipientes usados en el tratamiento tienen que estar equipados con detectores de niveles altos de pH y temperatura. Éstos deben ser automáticos y continuos y tienen que estar conectados a dispositivos que muestren claramente los datos en la sala de control o laboratorio, junto con una alarma audible. Una evaluación del riesgo necesita que los monitores del proceso estén conectados a dispositivos limitadores. Es necesario hacer un seguimiento de la reacción ya que sus propiedades en el reactor pueden variar respecto a las observadas durante las pruebas de laboratorio. Dicha monitorización debe indicar inicialmente cualquier desviación respecto a las pruebas de laboratorio y también debe permitir la aplicación de medidas para detener o modificar la

- reacción. Por consiguiente, debería considerarse el enfriamiento y la extinción de los recipientes del reactor;
- h. garantizar que la mezcla dentro de un determinado recipiente de tratamiento sea la adecuada, ya que esto puede determinar el éxito del reactor. El método estándar para agitar los contenidos de un recipiente es un impulsor rotatorio. Existe una relación geométrica entre el tamaño del impulsor y la evacuación desde el recipiente (determinada por el tipo y tamaño del recipiente). Ésta también depende de la velocidad de agitación y de las características de los residuos. Cuando el impulsor entra en el recipiente, se necesita un cierre hermético para evitar las emisiones fugitivas. Debe proporcionarse un método de mezcla;
 - i. para seguir y controlar el proceso de cambio se debe disponer de un procedimiento escrito del proyecto y de la consideración y aprobación de cualquier cambio o desarrollo técnico, incluyendo todos los cambios de procedimiento o de calidad;
 - j. asegurarse de que todos los COV emitidos a causa del aumento de la temperatura en los recipientes de reacción sean devueltos al sistema de tratamiento después de la condensación en los reactores;
 - k. monitorizar la reacción durante el curso de la misma. Puede que sea necesario extraer el aire de escape del reactor;
 - l. tener un sistema, como en el caso de la mayoría de instalaciones, para renovar el aire por encima de los recipientes de reacción y hacerlo pasar a través de algún tipo de sistema de tratamiento para eliminar gases como el amoníaco, el cloruro de hidrógeno y el dióxido de azufre. Las soluciones acuosas de los reactores se devuelven normalmente a la instalación de tratamiento y se regeneran los sistemas de carbón activo (por ejemplo por medio de un secado al vapor) o, en caso de que esto no sea posible, el carbón activo se incinera.

Beneficios ambientales obtenidos

El control del proceso de reacción o tratamiento es crucial para la protección ambiental y la prevención de posibles accidentes. Se puede obtener un rendimiento del 96 % en la eliminación de metales.

Aplicabilidad

Las instalaciones de tratamiento físico-químico realizan el cribado de los residuos de entrada para que les sea posible almacenar los residuos en los depósitos correctos y equilibrar las reacciones.

Motivo principal para su aplicación

Algunas normas nacionales para los efluentes están disponibles, como por ejemplo el Acta de la Contaminación de las Aguas Superficiales en los Países Bajos.

Instalaciones de ejemplo

En general, los depósitos para la reacción de neutralización están equipados con unidades de reactores básicos y la mayoría de los gases ácidos se devuelven al proceso junto con algunos de los COV y casi todas las partículas y soluciones. Las capacidades de las instalaciones de ejemplo varían desde 200 a 40.000 m³ anuales.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004], [156, VROM, 2004]

4.3.1.3 Neutralización

Descripción

El propósito y los principios de la operación de neutralización se muestran en el apartado 2.3.2. Algunos temas que deben considerarse son, entre otros:

- a. evitar que se mezclen los residuos ácidos o básicos con otras corrientes que deben neutralizarse cuando la mezcla contiene simultáneamente metales y agentes de complejación. Esto evita la formación de complejos metálicos que son difíciles (desde un punto de vista económico) de separar posteriormente. De entre los iones que forman complejos, hay que prestar atención, por ejemplo, al EDTA, el ANT y los cianuros;
- b. hacer que el equipo de neutralización necesario sea robusto y fácil de usar puede ayudar a que éste resista la fuerza del uso en las instalaciones de tratamiento físico-químico que se ocupan de los residuos ácidos o básicos que necesitan una neutralización;
- c. garantizar que los métodos de medición habituales, esto es, con la ayuda de electrodos de vidrio o sensores similares, se utilicen durante el funcionamiento de las instalaciones de tratamiento físico-químico para neutralizar los residuos si los electrodos están limpios constantemente y calibrados adecuadamente. La determinación del pH también es posible mediante la medición de muestras preparadas o utilizando papel de tornasol;
- d. almacenar las aguas residuales neutralizadas separadas de las tratadas para no afectar negativamente a la calidad de las últimas como consecuencia de las reacciones secundarias que ocurrirían si se almacenasen juntas. La inspección final de las aguas residuales tratadas debe llevarse a cabo después de que haya transcurrido un tiempo de almacenamiento suficiente.

Beneficios ambientales obtenidos

Mejora el rendimiento del proceso de neutralización y evita problemas posteriores (por ejemplo, al evitar la mezcla de residuos u otras corrientes de tal manera que ya no sea posible ningún tratamiento adicional de las aguas residuales).

Datos operativos

Si se combina el ácido sulfúrico (H_2SO_4) con la lechada de cal ($Ca(OH)_2$) se puede obtener yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) como un producto de la reacción. El yeso puede originar depósitos e incrustaciones, lo que causa una interrupción grave del funcionamiento, por lo que será necesario un mantenimiento a fondo y medidas de reparación. No obstante, estos problemas pueden minimizarse con un funcionamiento adecuado del proceso de neutralización (usando H_2SO_4 diluido y una neutralización previa con cal) y mezclando fuertemente. Si en lugar de cal se usa NaOH para la neutralización, pueden ocurrir otros problemas. Según algunas experiencias, las altas concentraciones de sulfatos en las aguas residuales, causadas por la neutralización con NaOH, pueden dañar las alcantarillas de hormigón y provocar emisiones de olor.

Aplicabilidad

La neutralización es aplicable a todos los residuos líquidos que se puedan mezclar.

Instalaciones de ejemplo

En un sistema acuoso diluido tiene que ser posible realizar los procesos de neutralización sin producir gases expresamente ni involuntariamente. En unos procesos en los cuales están implicadas ciertas sustancias potencialmente peligrosas, la neutralización con ácidos puede realizarse normalmente sin producir sustancias que necesiten constantemente una reducción, como por ejemplo los SO_x , etc.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004]

4.3.1.4 Precipitación de metales

Descripción

El objetivo de estas técnicas es precipitar los metales contenidos en los residuos acuosos. Algunas técnicas son:

- a. la acidificación de los residuos para disolver todos los metales en el paso inicial;
- b. el ajuste del pH al punto de solubilidad mínima en el cual los metales precipitarán;
- c. permitir que los residuos tratados resultantes clarifiquen por decantación cuando sea posible (por ejemplo, es muy difícil que las altas concentraciones de metales en agua clarifiquen por decantación) o con la adición de otro equipo de deshidratación (por ejemplo, un filtro prensa o un equipo de centrifugación);
- d. evitar la entrada de agentes de complejación cromatos y cianuros (debido al peligro de formación de HCN a partir de residuos acidificantes);
- e. cambiar las condiciones de precipitación, por ejemplo, si no se consigue la concentración en las aguas residuales tratadas del metal en cuestión aplicando una precipitación con hidróxidos (por ejemplo, a causa de la presencia de agentes de complejación), puede usarse una precipitación con sulfuros (por ejemplo, con sulfuro sódico o sulfuros orgánicos). El objetivo es la formación de sulfuros metálicos que son poco solubles en agua. Se usa sulfuro de hidrógeno y por tanto hay que poner una atención especial a las condiciones de funcionamiento y las emisiones. En la práctica, la precipitación con sulfuros se usa para tratar las aguas residuales que contienen agentes de complejación;
- f. evitar que los materiales orgánicos entren en el proceso, ya que generalmente interrumpen la reacción de precipitación;
- g. organizar el proceso según los pasos siguientes:
 - investigación experimental en el laboratorio; determinación de un programa de tratamiento,
 - establecer los valores de control del proceso, por ejemplo, pH, temperatura, concentración de los metales, etc.,
 - determinación de los agentes auxiliares en función del tipo, cantidad y concentración,
 - determinación de la dosis para los agentes auxiliares (por ejemplo l/h),
 - determinación de la secuencia de adición de los agentes auxiliares,
 - test de funcionamiento del equipo,
 - ejecución de la precipitación y de la floculación; documentación del control del proceso.

Beneficios ambientales obtenidos

Sustancias como el cromo, el cinc, el níquel y el plomo se encuentran normalmente disueltas en una solución o absorbidas en las partículas o materia coloidal. Es una tecnología relativamente simple y robusta y muestra un rendimiento de hasta el 95 %.

Efectos cruzados

El cromo (III), el cinc y el cadmio son anfóteros y su solubilidad aumentará con un pH superior a sus puntos de solubilidad mínimos. La producción de lodos que contienen metales puede considerarse como un efecto cruzado. La cantidad de torta de filtración puede reducirse reemplazando la cal por hidróxido sódico, pero en ese caso los fluoruros no precipitan.

El uso de la técnica e del sulfuro (del anterior apartado de descripción) resulta típicamente en una concentración alta de sulfuro en las aguas residuales. Como alternativa, puede aplicarse la separación húmeda o la separación en origen.

Datos operativos

De forma similar a la neutralización con ácidos o bases, el proceso implica la adición de ácidos o bases (que pueden ser unos residuos) dentro de un recipiente de reacción con agitador. Como hidróxido se usa típicamente la cal.

En relación con la técnica b en el anterior apartado de descripción, la tabla 3.48 (en el capítulo 3) mostraba el rango de valores de pH para la precipitación de varios metales como hidróxidos. El pH para la solubilidad mínima depende del metal y, en el caso de una mezcla de metales, hace falta encontrar un valor óptimo. Para este pH óptimo, puede que algunos metales no precipiten en absoluto. Esta es la razón por la que, en algunos casos, se usa más de un intervalo de pH para maximizar la eliminación de metales.



Figura 4.3: Representación de un proceso de precipitación y neutralización
[55, UK EA, 2001]

Las ventajas de las operaciones por lotes en el tratamiento de los residuos que varían mucho de una carga a otra se muestran en función de los resultados de la operación y la experiencia, por ejemplo:

- para un pH constante, la concentración de metales en las aguas residuales puede aún disminuir,
- repitiendo la mezcla de aguas residuales y lodos sedimentarios, se pueden conseguir efectos adicionales de coprecipitación; un prerequisite para la coprecipitación es una circulación y un transporte suaves de los lodos.

Puesto que, en general, se usan materiales que son corrosivos para los metales, la instalación (contenedores, tuberías, instrumentos de medición, etc.) debe estar equipada y protegida adecuadamente (uso de materiales sintéticos, pinturas, etc.).

Aplicabilidad

Los procesos de tratamiento de los residuos tratan diversos materiales residuales acuosos y compatibles, precipitando los metales solubles y los iones ácidos de la solución al mismo tiempo que incrementan el tamaño de las partículas de los sólidos en suspensión, ayudando de esta manera a la posterior fase de separación entre sólidos y líquidos mediante clarificación y filtración. Entre los residuos típicos se encuentran los residuos del interceptor, los residuos de las cabinas de pulverizadores de pintura y los efluentes del proceso.

Motivo principal para su aplicación

En los Países Bajos, la técnica de concentración de metales en los lodos se aplica a las aguas residuales que contienen metales (excepto para el ácido de decapado y las aguas residuales que contienen metales preciosos) cuando éstas contienen un metal (As, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Sn, V y Zn) a una concentración de más de 200 mg/l, de los cuales 25 mg/l están presentes en la fracción acuosa o la concentración de Cd supera los 0,2 mg/l.

Instalaciones de ejemplo

En una instalación de ejemplo, se añade ácido de galvanización o decapado en un recipiente de reacción y el pH desciende hasta un valor de 5. Esto permite la liberación de iones ferrosos a partir del ácido, para actuar como un agente reductor, y reducen los metales de un estado de oxidación alto a uno bajo, los cuales pueden entonces eliminarse (como hidróxidos) de la solución al incrementar posteriormente el pH hasta 9 con la adición de cal.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.3.1.5 División de las emulsiones**Descripción**

Algunas técnicas son:

- a. el uso de ácidos y bases residuales como materiales para dividir las emulsiones;
- b. el uso de evaporación, ultrafiltración o agentes orgánicos para la división;
- c. la aplicación de tests para detectar la presencia de cianuros en las emulsiones que se van a tratar. Si contienen cianuros, las emulsiones necesitan entonces un pretratamiento especial;
- d. el establecimiento previo de tests de simulación en laboratorio. El operario establece normalmente un programa de tratamiento que contiene detalles sobre el tipo y la cantidad de ácidos, soluciones cáusticas y agentes de floculación que se van a usar. Los tests de laboratorio en muestras pueden ayudar a determinar si se puede conseguir una calidad adecuada de las aguas residuales;
- e. la realización del proceso con una precisión y un control considerables del mismo y de la separación orgánica.

Beneficios ambientales obtenidos

La separación ácida de las emulsiones es muy importante para la eliminación de residuos y para la protección del agua, ya que los residuos, como los ácidos que se han usado y los residuos básicos, pueden usarse para el tratamiento de las emulsiones. Durante la separación orgánica, es posible que ocurra una separación incompleta en el caso de una dosificación menor, así como es posible la formación de nuevas emulsiones debido a un exceso de dosificación.

Es importante que las técnicas mencionadas en el apartado anterior de descripción sean tomadas en cuenta para determinar el método más apropiado para la división de cada tipo de emulsión y evitar así problemas ambientales y de funcionamiento.

Efectos cruzados

Puede que sea necesario un tratamiento adicional de las aguas residuales después del tratamiento de la emulsión, usando por ejemplo un intercambio de iones o una adsorción con carbón activo. Si esto es necesario, debe especificarse como una instrucción de funcionamiento en el programa de tratamiento.

El uso de ácidos y bases residuales (véase la técnica a en el anterior apartado de descripción) produce típicamente unas aguas residuales con mayores concentraciones de sales y aceites. El fango oleoso es normalmente más difícil de verter y no se puede recuperar el aceite.

Datos operativos

El tratamiento real de la emulsión, también llamado separación de la emulsión, consiste en dos fases de tratamiento:

- desestabilización (separación) de la emulsión, mezclándola con ácidos,
- floculación y precipitación de los metales disueltos presentes en la emulsión separada.

Bibliografía

[121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004]

4.3.1.6 Oxidación/reducción

Descripción

Algunas técnicas son:

- la disminución de las emisiones a la atmósfera generadas durante la oxidación/reducción,
- la disponibilidad de medidas de seguridad y detectores de gas (por ejemplo, adecuados para detectar HCN, H₂S y NO_x).

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce las emisiones que pueden producirse durante las reacciones de oxidación-reducción.

Instalaciones de ejemplo

La recogida del aire de escape está garantizada por la succión con un ventilador y un filtro de aire. Aquí no se hacen mediciones ya que el caudal de aire de escape transportado está sobredimensionado. El filtro, que puede implicar reactores ácidos o básicos, está controlado regularmente y, si es necesario, regenerado.

Bibliografía

[121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

4.3.1.7 Técnicas para el tratamiento de residuos que contienen cianuros

Descripción

Los cianuros pueden destruirse usando diferentes clases de agentes oxidantes como por ejemplo hipoclorito, cloro, peróxidos y peróxidos con radiación UV. Otras técnicas pueden ser la oxidación electroquímica o la oxidación húmeda con aire (de presión media a alta). Las temperaturas altas también destruyen los cianuros en los residuos sólidos. Sin embargo, las técnicas de incineración no se incluyen en este documento. Algunos temas que deben considerarse son, entre otros:

- los cianuros pueden eliminarse en corrientes de residuos acuosos mediante la oxidación con un agente oxidante básico a un pH no inferior a 10 y una concentración de cloro inferior a 1 g/l. La reacción es muy rápida;
- el añadido de sosa cáustica en exceso puede evitar que el pH descienda demasiado;
- debe evitarse la mezcla de residuos de cianuro con ácidos (por ejemplo, neutralización y división de las emulsiones con ácidos);
- como el tratamiento de los cianuros es por oxidación, su destrucción puede comprobarse midiendo los potenciales redox (potenciales electroquímicos). La adición de hipoclorito sódico a un colector de efluentes puede por tanto controlarse;
- el uso de electrólisis para oxidar los cianuros.

Beneficios ambientales obtenidos

Los cianatos resultantes no pueden volver a reducirse fácilmente a cianuros y cualquier vertido de cianato en un curso de agua no comportará la producción de cianuro libre. También hay menos riesgos para la salud. El pretratamiento de las aguas residuales que contienen cianuros es esencial para evitar la formación de complejos de metales y cianuros. Con estas técnicas se pueden conseguir concentraciones de cianuro inferiores a 0,1 mg/l.

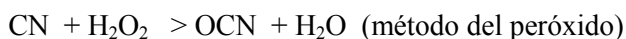
Efectos cruzados

Uso de oxidantes (por ejemplo, hipoclorito, permanganato potásico, etc.) cuando se requiera.

El uso de hipoclorito o cloro aumenta el contenido en sales de las aguas residuales y también puede incrementar el contenido de AOX. El cloruro de cianógeno también puede producirse durante el tratamiento con los oxidantes de cloro. Cuando se usan oxidantes clorados, es importante que el pH del sistema permanezca por encima de 10. Si el pH es demasiado bajo, se

puede formar cloruro de cianógeno y cianuro de hidrógeno. Cuando hay un exceso de hipoclorito puede llegar a emitirse gas cloro y, en cambio, si falta hipoclorito se producirá un residuo de cianuro.

El uso de H₂O₂ u ozono como oxidantes no crea ninguno de los subproductos que se muestran en las reacciones siguientes:



Datos operativos

Los vertidos de efluentes acuosos en los cursos de agua se monitorizan continuamente para el contenido en cianuros, el cloro libre y el nivel de pH. El uso de oxígeno puro como oxidante no es tan eficiente como el de los otros oxidantes mencionados.

Aplicabilidad

Los métodos de tratamiento químicos y térmicos se usan mayormente para la destrucción de corrientes de residuos que contienen cianuro.

Motivo principal para su aplicación

La destrucción de los cianuros.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004], [156, VROM, 2004]

4.3.1.8 Técnicas para el tratamiento de residuos que contienen compuestos de cromo (VI)

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- a. debe evitarse la mezcla de residuos de cromo (VI) con otros residuos,
- b. la conversión de Cr(VI) en Cr(III), que es menos peligroso, puede conseguirse añadiendo un agente reductor, por ejemplo el metabisulfito sódico, el ácido de decapado, el hidrosulfito sódico, etc. Después, es posible precipitar el metal trivalente de la manera normal (véase el apartado 4.3.1.4).

Beneficios ambientales obtenidos

El cromo (VI) es el estado de oxidación más alto del metal. Un ejemplo de ello es el ácido crómico, u óxido de cromo (CrO₃), que es ácido, tóxico, soluble en agua y usado como un agente oxidante. Con estos tratamientos se consiguen concentraciones de cromo (VI) inferiores a 0,1 mg/l.

Efectos cruzados

Se necesita un agente reductor.

Motivo principal para su aplicación

El tratamiento de neutralización directa de los compuestos de cromo (VI) no es efectivo, de manera que se necesita aplicar un paso previo que implica la reducción a cromo (III), el estado trivalente.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004], [156, VROM, 2004]

4.3.1.9 Técnicas que se aplican cuando las aguas residuales están contaminadas con nitritos

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- a. evitar la mezcla de residuos que contienen nitritos con otros residuos,
- b. comprobar y evitar los vapores nitrosos durante la oxidación y acidificación de nitritos,
- c. comprobar y evitar los vapores nitrosos durante la reducción de nitritos.

Beneficios ambientales obtenidos

Se pueden conseguir concentraciones inferiores a 2,0 mg/l de nitrito mediante una buena optimización del proceso de tratamiento de nitritos.

Efectos cruzados

Se requiere el uso de un agente oxidante en los procesos de oxidación. Los agentes reductores utilizados son la urea o el ácido amidosulfúrico.

Instalaciones de ejemplo

En Austria hay tres instalaciones que funcionan con estos sistemas.

Bibliografía

[121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004]

4.3.1.10 Tratamientos de soluciones fenólicas por oxidación

Descripción

Es posible tratar los residuos acuosos que contienen fenol (3-5 %-peso) con una oxidación catalítica, usando un agente oxidante y un catalizador metálico o con un agente oxidante fuerte (por ejemplo KMnO_4).

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce el contenido de fenol en los residuos acuosos.

Efectos cruzados

Uso de un agente oxidante y un catalizador cuando sea necesario.

Datos operativos

El tratamiento ha de tener en cuenta la naturaleza exotérmica de la reacción. Las materias primas se pueden diluir antes del tratamiento. La temperatura, el pH y el potencial redox del proceso se monitorizan continuamente.

Instalaciones de ejemplo

Una instalación de ejemplo en el Reino Unido utiliza este proceso a partir de un lote de tres toneladas en un depósito de doble pared de acero inoxidable.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [150, GTT, 2004]

4.3.1.11 Técnicas para residuos que contienen amoníaco

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- a. para los residuos con soluciones de amoníaco de hasta un 20 % en peso, tratarlas con un sistema de extracción de aire de doble columna con un reactor ácido. Se ha desarrollado un proceso de doble columna en el cual la columna inicial aumenta la temperatura de la materia prima y mantiene el pH entre 10 y 11. La materia prima se transfiere entonces a una segunda columna dentro de la cual se mueve a contracorriente a través de una torre de relleno contra el aire;
- b. recuperar el amoníaco en los reactores y devolverlo al proceso antes de la fase de decantación;
- c. la eliminación del amoníaco en fase gaseosa mediante la depuración de los residuos con ácido sulfúrico para producir sulfato de amonio.

Beneficios ambientales obtenidos

Estas técnicas evitan una gran emisión de gas amoníaco durante el proceso inicial de neutralización cuando el pH cambia rápidamente, ya que se agitan los depósitos y la temperatura aumenta.

Datos operativos

Puede aplicarse también un pretratamiento (por ejemplo, extracción de aire) a las soluciones con una concentración elevada de amoníaco para reducirla antes de pasar a la instalación de tratamiento.

Aplicabilidad

Estos sistemas se aplican a las aguas residuales con un alto contenido de amoníaco. Hay otros residuos que contienen amoníaco o amonio (por ejemplo, lixiviados de vertedero) para los cuales el sistema de extracción descrito no es adecuado, debido al paso de otras sustancias a la fase gaseosa.

Aspectos económicos

Las soluciones que contienen amoníaco también pueden usarse como agentes reductores de los óxidos de nitrógeno. Esta aplicación puede resultar menos cara que la recogida y el tratamiento como residuos peligrosos.

Motivo principal para su aplicación

El amoníaco contribuye a la lluvia ácida y a la contaminación con purines.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

4.3.1.12 Filtración

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- a. ampliar cualquier muestreo de aire para la detección de amoníaco en las chimeneas de gases o áreas de filtros prensa para cubrir los COV;
- b. la unión del espacio de aire sobre algunas prensas al sistema principal de disminución en la instalación;
- c. mejorar las propiedades de drenaje del fango mediante la adición de floculantes, por ejemplo cal o agentes de floculación sintéticos. Este acondicionamiento del fango tiene lugar en contenedores equipados con agitadores ajustables. Para mezclar el fango con los floculantes, se acelera el agitador y en poco tiempo se consigue mezclarlos completamente; normalmente, para no perjudicar la floculación, el agitador se mueve despacio durante la formación de grumos.

Beneficios ambientales obtenidos

Mejora el proceso de filtración y reduce las emisiones fugitivas. La torta de filtración con concentraciones altas de metales, por ejemplo níquel y cobre, puede usarse como materia prima para la industria metalúrgica.

Efectos cruzados

El hecho de tener que limpiar los filtros de tela es una desventaja. Para ello, se ha comprobado que va bien la aplicación de limpiadores de alta presión con agua o lavar las telas con soluciones especiales parcialmente ácidas.

La necesidad de mantenimiento de las prensas y eliminar la torta o el lodo implica que el sistema se abra regularmente, por lo que es difícil evitar las emisiones a la atmósfera.

Datos operativos

Se necesita energía para ejecutar el proceso.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004]

4.3.1.13 Flotación

Descripción

El sistema de flotación por aire disuelto (FAD) produce una solución sobresaturada de aguas residuales y aire comprimido al aumentar la presión de la corriente de aguas residuales hasta alcanzar la del aire comprimido y, entonces, mezclar los dos en un depósito de retención. Esta mezcla sobresaturada de aire y aguas residuales fluye hacia un gran depósito de flotación en el cual se libera la presión, generando de esta manera muchas burbujas pequeñas de aire. Por medio de una combinación de adsorción y atrapamiento, las partículas floculadas suben a la superficie del reactor. Los sólidos en suspensión flotan hasta la parte superior del líquido y forman una espuma que es desnatada en ese momento. Algunas sustancias coloidales solubles se eliminan de las aguas residuales mediante la adición de coagulantes y floculantes que forman precipitados con los solutos.

Beneficios ambientales obtenidos

El FAD se usa mucho porque es muy eficaz en la eliminación de diversos sólidos.

Efectos cruzados

Es posible que se produzcan emisiones a la atmósfera y también se produce una gran cantidad de lodos químicos (que contienen FeCl_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, polielectrólitos y partículas) que han de ser tratados antes de su eliminación.

Datos operativos

Normalmente se usan sustancias químicas como polímeros, polielectrólitos, sales de aluminio (por ejemplo, sulfatos) o sales de hierro (por ejemplo, cloruro férrico) para aumentar la adhesión de las burbujas. Se requiere energía para ejecutar el proceso.

Motivo principal para su aplicación

No se necesita ningún depósito de sedimentación.

Instalaciones de ejemplo

El FAD se usa ampliamente.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

4.3.1.14 Procesos de intercambio de iones

Descripción

Algunas técnicas son:

- a. el uso de intercambiadores iónicos sólo para concentraciones de sales inferiores a 1.500 mg/l. Si no, el tratamiento no es económicamente viable;
- b. el uso de pretatamientos para reducir la concentración de sal, por ejemplo, la precipitación;
- c. eliminar los materiales sólidos en soluciones mediante filtros de arena o adsorción con carbón activo antes de aplicar los procesos de intercambio de iones;
- d. el uso de mediciones de conductividad para monitorizar y hacer funcionar la instalación del intercambiador iónico (combinación catión-anión). Es muy sensible y poco probable que sea susceptible a interferencias.

Otros parámetros de test pueden ser los aceites, los materiales emulsionados (pérdida de combustión), los materiales sólidos en la entrada del intercambiador iónico, el valor del pH, los hidrocarburos aromáticos, los hidrocarburos clorinados y los ácidos orgánicos.

Beneficios ambientales obtenidos

Mejora de los procesos de intercambio de iones.

Datos operativos

Los intercambiadores iónicos sólo pueden funcionar con soluciones «limpias», o sea, soluciones que principalmente contienen iones pero no componentes sólidos.

Bibliografía

[121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

4.3.1.15 Filtración con membrana

Descripción

Los requisitos de resistencia con relación a la limpieza, larga duración y bajos costes de fabricación de las membranas, se aplican a todos los procedimientos relacionados con éstas. La selección de la membrana apropiada es muy importante para el tratamiento de los residuos. Algunas técnicas para la selección y el uso de una membrana apropiada incluyen:

- a. la determinación, por medio de un examen de laboratorio, de las membranas que son apropiadas para los residuos que se van a tratar;
- b. someter el permeado y el concentrado resultantes de la ultrafiltración a un tratamiento posterior. En el caso del permeado, puede tratarse de destoxificación, neutralización, precipitación o evaporación. En el caso del concentrado, puede que se necesite eliminarlo;
- c. la monitorización de los parámetros siguientes con microsistemas o sistemas de ultrafiltración:
 - valor del pH,
 - rendimiento,
 - conductividad eléctrica,
 - presión, temperatura,
 - contenido de aceite,
 - eficacia y calidad del permeado (por ejemplo, valor de enturbamiento, hidrocarburos),
 - cianuros, nitritos y cromatos,
 - contenido sólido.

Beneficios ambientales obtenidos

Algunos de los beneficios son, entre otros:

- no se necesita ningún aditivo químico (ninguna conversión material),

- las aguas residuales no se contaminan adicionalmente con sustancias químicas (sin salinización).

Efectos cruzados

Requisitos energéticos del proceso.

Datos operativos

Es posible automatizar la filtración de la membrana. Además, estas unidades de filtración requieren poco espacio.

Aplicabilidad

Los procedimientos de membrana son adecuados para el tratamiento de los residuos si éstos han sido pretratados o si se trata de unos residuos determinados con una idoneidad probada para la filtración por membrana. Se tienen que separar los materiales que provocan cambios desfavorables en las membranas, como adhesión o hinchamiento. Teniendo presentes estas restricciones, la filtración con membrana:

- es apropiada tanto para las aguas residuales de baja carga como las de alta carga,
- puede usarse para separar la emulsión independientemente del tipo, concentración o estabilidad.

Tipo de sustancia	Efecto en la membrana	Técnica para superar el problema de la membrana
Sólidos con un tamaño de partícula > 0,5 mm	Obstrucción, desgaste de la membrana	Adecuada con una fase de purificación previa.
Solventes	Hinchamiento de la membrana, cambio estructural, disminuye la permeabilidad	Evitar la introducción
Soluciones básicas y ácidas con valores extremos de pH	Posible destrucción del material de la membrana	Ajustar el valor del pH
Materiales orgánicos (con membranas de acetato de celulosa)	Daño en la membrana por putrefacción	Por medio de bactericidas
Silicona (desde 0,1 %)	Obstrucción de la membrana	Evitar la introducción en la membrana
Aceites (desde 1,0 %)	Obstrucción de la membrana ¹	Evitar la introducción en la membrana

¹ El uso de RO y posiblemente NF con niveles de aceite del 1 % no funcionará eficazmente durante un período operativo largo sin pretatamientos muy extensos.

Tabla 4.21: Técnicas que deben tenerse en cuenta en la tecnología de la membrana [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004]

En principio, la tecnología de membrana se puede usar para los propósitos que se muestran en la figura 4.4:



Figura 4.4: Clasificación de la tecnología de membrana según la tarea de separación [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

Aspectos económicos

Los costes de personal son bajos, ya que normalmente está automatizada.

Bibliografía

[121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004]

4.3.1.16 Sedimentación

Descripción

La decantación se lleva a cabo en clarificadores que deben estar específicamente diseñados con una entrada, una salida, una zona de decantación y una capa de lodos (o zona de lodos). Se recomienda añadir floculantes a los lodos y las aguas residuales que van a tratarse para acelerar el proceso de sedimentación y facilitar la posterior separación de los sólidos.

Beneficios ambientales obtenidos

Incrementa la eficacia de sedimentación. La sedimentación de los sólidos simplifica generalmente los procedimientos posteriores de tratamiento de los residuos. En este sentido, en la parte apropiada del proceso, la sedimentación es una ventaja para el tratamiento de los residuos en las instalaciones de tratamiento físico-químico. Sin embargo, los procesos de sedimentación no voluntarios, los que se dan por ejemplo en los contenedores de la reacción, son un inconveniente ya que pueden afectar a los procesos y, a menudo, la acumulación del sedimento sólo puede eliminarse con un coste elevado.

Efectos cruzados

Se forma, típicamente, un residuo. La adición de floculantes implica que éstos aparecerán en las aguas residuales tratadas o bien que estarán presentes en el sólido separado.

Datos operativos

La eficacia del proceso de sedimentación se ve afectada por las características de las aguas residuales y de los sólidos en suspensión y por las variaciones del flujo y de la operación en

general. En la práctica, se ha demostrado que los siguientes agentes de sedimentación son ventajosos:

- lechada de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$),
- cloruro férrico (FeCl_3),
- polielectrólitos.

Aplicabilidad

Los sólidos pueden ser partículas diferenciadas en suspensión que precipitan por sí solas o puede haber un rango de tamaños y características de superficie que entonces requieren la formación de suspensiones floculantes para coagular y precipitar la masa, por ejemplo, por medio de acondicionamiento químico. En ciertos casos, no es necesario usar agentes de floculación porque los sólidos precipitan solos o los floculantes no son eficaces.

Aspectos económicos

La aplicación de esta técnica permite ahorrar en los costes de vertido y transporte, ya que se tiene que gestionar únicamente el sedimento y no la suspensión acuosa total.

Instalaciones de ejemplo

Las fábricas de papel (sedimentación de las fibras de celulosa que no son demasiado cortas) y otras instalaciones con gran cantidad de sólidos en suspensión en las aguas residuales.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004]

4.3.1.17 Tamizado

Descripción

Ver el apartado 2.3.2. Algunas técnicas para las operaciones de tamizado prevén:

- a. evitar la sobrecarga del equipo de tamización (ya sea ópticamente mediante la monitorización de los controles del equipo o automáticamente al bloquear la bomba de llenado por medio del indicador de nivel del contenedor de almacenamiento);
- b. la limpieza correcta de las aperturas del filtro tal como está requerido (óptico, empírico). Algunas buenas medidas de limpieza incluyen la aplicación de una limpieza rápida con vapor o un chorro de agua de alta presión;
- c. garantizar que haya un vertido sin problemas a través del conducto inferior y del rebosadero del filtro durante todo el tiempo (por medio de mecanismos ópticos de cierre de la bomba de llenado u otros controles).

Beneficios ambientales obtenidos

El tamizado de los residuos se lleva a cabo como un proceso de tratamiento inicial. La separación de las partículas que pueden dañar el equipamiento, los procesos o los productos, es beneficiosa para todas las medidas sucesivas de tratamiento de los residuos.

Datos operativos

Las ventajas de los tamizadores son su construcción robusta y simple, pocos requisitos de mantenimiento y el hecho de que son fáciles de usar y son fiables. Las desventajas están asociadas generalmente a los propios residuos, por ejemplo pueden obstruirse los poros del filtro como resultado del grado de viscosidad de los residuos líquidos, lo cual impide la separación.

Bibliografía

[121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002]

4.3.1.18 Extracción con disolventes

Descripción

Algunas técnicas son:

- a. el uso de procesos que funcionen bien y estén bien regulados,
- b. devolver el disolvente de extracción para reutilizarlo en un bucle cerrado,
- c. el uso de agentes antiespuma cuando se producen fallos en la extracción debidos a las sustancias tensoactivas originadas en los procesos de mezcla;
- d. evitar el uso de disolventes con propiedades químicas comparables a las del componente que se va a extraer, para evitar los efectos de una mala separación (por ejemplo, mezclas azeotrópicas);
- e. mejorar el rendimiento de la extracción aumentando la temperatura;
- f. la separación de las sustancias que puedan tener efectos negativos sobre los procesos de pretratamiento.

Beneficios ambientales obtenidos

Aumenta el rendimiento ambiental de la extracción con disolventes. Algunas razones para usar la extracción incluyen: su bajo consumo energético para la separación de sustancias, desde aguas residuales poco concentradas hasta el rango de ppm; la posibilidad de extraer sustancias insolubles y también el alto nivel de selectividad que se puede conseguir usando reactivos y agentes de extracción adecuados durante el proceso de extracción.

Efectos cruzados

Emisiones de COV a la atmósfera.

Aspectos económicos

Se ahorran materias primas y costes de transporte si la destilación se puede realizar en la instalación.

Instalaciones de ejemplo

Muchos sistemas devuelven el disolvente de extracción para su reutilización en un bucle cerrado.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004]

4.3.1.19 Técnicas de tratamiento de aguas residuales que contienen metales preciosos

Descripción

Los residuos del líquido fotográfico contienen varios compuestos tóxicos que no son fácilmente degradables. Por medio de tratamientos físico-químicos y biológicos, como la evaporación, se minimiza la difusión de estos compuestos al ambiente. Algunas técnicas son:

- a. en el caso de las aguas residuales del revelado fotográfico en blanco y negro, se recuperan los metales cuando la concentración de plata es superior a 50 mg/l y la depuración va seguida de la evaporación y la incineración del concentrado en un horno de parrilla o en un horno de cemento;
- b. en el caso de las aguas residuales del revelado fotográfico en color, se recuperan los metales cuando la concentración de plata es superior a 100 mg/l y la depuración va seguida de la evaporación y la incineración del concentrado en un horno de parrilla o en un horno de cemento.

Beneficios ambientales obtenidos

Hay una reducción del consumo de sustancias químicas y de los lodos producidos, en comparación con la destoxificación, la neutralización y la deshidratación para la eliminación de metales mediante sustancias químicas.

Efectos cruzados

En comparación con la destoxificación, la neutralización y la deshidratación para la eliminación de metales mediante sustancias químicas, aumenta el consumo de energía, por ejemplo:

- electricidad para la electrólisis,
- calor para la evaporación.

Datos operativos

La precipitación y ultrafiltración de sulfuros producen lodos de sulfuro con una concentración aproximada de 5-10 kg/m³ de aguas residuales del líquido fotográfico. A partir de los lodos se recupera la plata y otros metales gracias a procesos pirometalúrgicos que generan escorias como residuos. Los tratamientos físico-químicos y biológicos a los que se someten las aguas residuales sin plata del revelado fotográfico producen lodos con una concentración aproximada de 0,1-0,2 t/t de aguas residuales.

La plata se recupera para ser reutilizada y se reducen las concentraciones de plata y otros metales en las aguas residuales. La recuperación de plata es de aproximadamente el 95 %. El contenido de plata en el permeado de la filtración por membrana es <1 mg/l en el caso de las aguas residuales del revelado fotográfico en blanco y negro y <10 mg/l en el caso de las aguas residuales del revelado fotográfico en color.

Aplicabilidad

Las técnicas para la recuperación de metales no son aplicables únicamente a las aguas residuales del revelado fotográfico, sino también a otras aguas residuales que contienen metales preciosos, por ejemplo en la industria galvánica. La electrólisis tiene un mayor rendimiento y cuesta menos energía ya que los metales son más preciosos y las concentraciones son más altas. La capacidad de una de las instalaciones de ejemplo por lo que respecta a los rangos de recuperación de metales ronda las 10-20 kt anuales.

Las técnicas de tratamiento físico-químico y biológico para las aguas residuales sin plata del revelado fotográfico se pueden aplicar a aguas residuales similares. La tabla 3.81 muestra los criterios de aceptación para los residuos líquidos fotográficos sin plata y las aguas residuales similares (que han sido tratadas de la misma manera). La capacidad de una de las instalaciones de ejemplo por lo que respecta a los tratamientos físico-químicos y biológicos es de aproximadamente 100-200 kt anuales.

Motivo principal para su aplicación

Las normas para los efluentes basadas en el Acta de la Contaminación de las Aguas Superficiales.

Instalaciones de ejemplo

Dos instalaciones en los Países Bajos.

Bibliografía

[150, GTT, 2004], [156, VROM, 2004]

4.3.1.20 Técnicas para el tratamiento de residuos marinos acuosos

Descripción

El tratamiento de residuos marinos acuosos distingue entre las aguas residuales que contienen aceites y las que contienen sustancias químicas. Algunas técnicas son:

- a. aplicar procesos de pretatamiento específicos en el caso de las aguas residuales que contienen metales (véase el apartado 4.3.1.19 anterior);
- b. aplicar un pretratamiento físico-químico y un tratamiento biológico en caso de que las aguas residuales contengan aceite;
- c. tratar los gases de escape para reducir los COV y las emisiones de olores;
- d. definir las normas de aceptación y procesamiento (concentraciones máximas en los residuos) para cada ruta de tratamiento;
- e. separar aceites, sustancias químicas, agua y lodos;
- f. si es apropiado, preparar el aceite o la fracción química para su uso como combustible;
- g. aplicar las normas (concentraciones máximas) para la mezcla de residuos que se va a usar como combustible;
- h. no mezclar ni diluir las aguas residuales para cumplir las normas relativas a los efluentes;
- i. deshidratar los lodos y, si es apropiado, aplicar un tratamiento térmico para reutilizar del material;
- j. tratar las aguas residuales.

Beneficios ambientales obtenidos

En comparación con el vertido de aguas residuales no tratadas o sometidas simplemente a un tratamiento biológico, las técnicas descritas reducen las emisiones de contaminantes a las aguas superficiales.

Efectos cruzados

- producción de lodos que tienen que eliminarse o someterse a un tratamiento posterior,
- consumo de sustancias químicas,
- consumo de energía,
- emisiones a la atmósfera, por ejemplo COV y olores.

Datos operativos

La eficacia de eliminación de los tratamientos de floculación y flotación y la de los tratamientos biológicos aerobios en un instalación de tratamiento de aguas residuales se muestran en la tabla 4.22:

Componente	Eficacia de eliminación floculación/flotación (%)	Eficacia de eliminación tratamiento biológico aerobio (%)	Tratamiento de aguas residuales Eficacia total (%) ²
Partículas en suspensión	>99	-	>99
Aceite	>99 ¹	99	>99
DQO	20	85	88
Fenoles	-	99	99
N total (Kjeldahl)	-	50	50
P	-	50	50
BTEX	75	99	99,7
HAP	96	95	99
CN	-	75	75
EOX + VOX	30	97	98
EOX	85	85	98
Metales pesados	80	-	80
Cd	80	-	80
Hg	>90	-	>80
¹ eliminación de la capa de aceites			
² total de los tratamientos de floculación/flotación y los tratamientos biológicos			

Tabla 4.22: Eficacias de eliminación de los tratamientos de floculación y flotación y de los tratamientos biológicos

Las emisiones de COV a la atmósfera se liberan desde los depósitos durante el almacenamiento y la transferencia, en las instalaciones de tratamiento y a partir de los escapes en las juntas. Las emisiones se pueden reducir mediante instalaciones cerradas y la inspección y el mantenimiento para evitar las fugas.

El tratamiento de los gases de escape mediante filtración, depuración o incineración puede reducir estas emisiones. Se puede aplicar un biofiltro o un filtro de carbón activo para evitar las emisiones de COV y el olor. Una alternativa para reducir estas emisiones consiste en airear con oxígeno en lugar de aire. Esto reduce el caudal de entrada de aire y el gas de escape. La desventaja es un mayor consumo de oxígeno y de energía de bombeo para compensar la reducción de la mezcla debida a una menor cantidad de aire introducido.

Si se aplica un tratamiento para los gases de escape, las emisiones varían desde aproximadamente 0,01 kg/m³ de aguas residuales en el caso de la incineración, con una eficacia del 99,9 %, hasta 0,05 kg/m³ de aguas residuales en el caso de un reactor húmedo.

Aplicabilidad

Las capacidades de las instalaciones de ejemplo están entre las 200 y las 500 kt anuales.

Motivo principal para su aplicación

Las normas para los efluentes basadas en el Acta de la Contaminación de las Aguas Superficiales en los Países Bajos.

Instalaciones de ejemplo

Tres instalaciones de ejemplo en los Países Bajos.

Bibliografía

[150, GTT, 2004], [156, VROM, 2004]

4.3.1.21 Técnicas de reducción de la contaminación aplicadas en las instalaciones de tratamiento físico-químico

La tabla 4.23 muestra las técnicas de reducción de la contaminación atmosférica aplicadas en las instalaciones de tratamiento físico-químico.

Instalación	Tratamiento del gas emitido en el área de tratamiento/reactores ^{a)}	Reducción de la contaminación atmosférica o tratamiento del gas emitido en las áreas de almacenamiento
Solidificación	Filtro de mangas	Filtro de mangas
Instalación de tratamiento físico-químico multifuncional	Reactor para ácidos Reactor para NH ₃ en funcionamiento, si es necesario	n. d.
Instalación de tratamiento físico-químico multifuncional	Reactor para ácidos Reactor oxidante	Filtro de carbón para algunos depósitos que contienen residuos aceitosos
Instalación de tratamiento físico-químico multifuncional	Los gases emitidos se usan durante la incineración de los residuos peligrosos	n. d.
Instalación de tratamiento físico-químico multifuncional	Sistema de tratamiento de 4 o 5 pasos: Reactor húmedo (elimina los aerosoles que contienen aceites y polvo) Reactor para ácidos Reactor para NH ₃ Biofiltro, sistema cerrado Filtro de carbón en funcionamiento, si es necesario	Ventilación de toda la instalación, tratamiento del gas emitido
Instalación de tratamiento físico-químico multifuncional	Reactor para NH ₃ Biofiltro	Biofiltro
Instalación de tratamiento físico-químico multifuncional	Reactor para ácidos Reactor para NH ₃	Ventilación
Instalación de tratamiento físico-químico multifuncional	Reactor en funcionamiento durante la oxidación del cianuro o del nitrito	Ventilación
Instalación de tratamiento físico-químico multifuncional	Reactor para ácidos Reactor oxidante Biofiltro para la parte orgánica	Biofiltro junto con gases emitidos durante el tratamiento biológico de RSM
Instalación de tratamiento físico-químico multifuncional	Reactor para ácidos Reactor para NH ₃ Biofiltro (sistema cerrado) Chimenea de gases	Biofiltro
Lavado de tierra / instalación de desgaste	Reactor de 1 paso	n. d.
^{a)} Muchas instalaciones usan los reactores sólo durante el tratamiento físico-químico en el recipiente de la reacción. Otras instalaciones tienen el sistema de disminución de aire en marcha continuamente. n. d. información no disponible.		

Tabla 4.23: Tratamiento de los gases emitidos en las grandes instalaciones de tratamiento físico-químico en Austria

[150, GTT, 2004]

La figura 4.5 y la tabla 4.24 muestran los sistemas de reducción de la contaminación atmosférica de una instalación austríaca y los parámetros de las aguas residuales conseguidos tras el tratamiento biológico de las aguas residuales.



Figura 4.5: Sistema de control y reducción de la contaminación atmosférica de una instalación de tratamiento físico-químico
[150, GTT, 2004]

Parámetro	Alimentación (efluente primario) (mg/l)		Efluente después del tratamiento biológico (reactor de alimentación discontinua) (mg/l)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
DQO	2500	12.000	600	1500
NH ₄ -N ^{a)}	25	16.000	<1	150
Nitrito	10	300	<1	<1
Nitrato	10	1000	<1	<1
Fenoles	10	500	<2	<2
Contenido de aceite	--	--	<0,5	--

a) Efluente después del tratamiento biológico: a menudo alrededor de 20 mg/l

Tabla 4.24: Concentración de efluente en una instalación austríaca antes y después del tratamiento terciario de aguas residuales (tratamiento biológico por lotes in situ)
[150, GTT, 2004]

4.3.2 Técnicas para el tratamiento físico-químico de sólidos y lodos

4.3.2.1 Pretratamiento anterior a la inmovilización

Descripción

El pretratamiento antes de la inmovilización consiste básicamente en el lavado o la lixiviación de las sales con agua y el pretratamiento físico-químico de los metales (especialmente la insolubilización de los metales anfóteros). El tratamiento subsiguiente, la solubilización, no se analiza en este apartado.

Beneficios ambientales obtenidos

Este tratamiento produce una torta de filtración con una toxicidad y solubilidad reducida y agua salada. Ayuda a reducir la lixivialidad de los residuos de salida y la contaminación por la lixiviación de los compuestos solubles.

Datos operativos

El proceso es más sofisticado que el de la simple solidificación.

Aplicabilidad

Los residuos que contienen cromatos o metales anfóteros como el Pb y el Zn, así como los residuos con cierta cantidad de sales solubles, normalmente tienen que ser pretratados antes de someterlos al proceso de inmovilización. Este pretratamiento permite el tratamiento de las cenizas volátiles y las sales que se producen durante la descloración de los gases resultantes de la incineración de los residuos municipales. También puede aplicarse a las cenizas resultantes tanto del tratamiento de los gases con cal como del tratamiento con bicarbonato sódico. En este último caso, se disocian los componentes sólidos solubles e insolubles y se reduce la cantidad de residuos vertidos al reciclar las sales solubles en una fábrica de cenizas de sosa.

Aspectos económicos

El coste de la inversión es más alto que el de un único proceso de solidificación.

Instalaciones de ejemplo

Éstas se aplican ya en una fábrica francesa a gran escala que trata 1000 t anuales de cenizas volátiles producidas en Francia.

Bibliografía

[136, Straetmans, 2003], [150, GTT, 2004]

4.3.2.2 Actividades de laboratorio

Descripción

Algunas técnicas, por lo que respecta a las actividades de laboratorio, son:

- a. tener el laboratorio en las instalaciones;
- b. aplicar un control de calidad (que incluya tests de lixivialidad y resistencia a la compresión, por ejemplo para los procesos de solidificación), incluyendo el cribado de todos los residuos propuestos para garantizar que no se excluya ninguno de los residuos que contienen inhibidores del proceso. En caso de que haya inhibidores, véase la técnica c más abajo. Para cada corriente de residuos, deben realizarse las pruebas de test a escala de laboratorio para maximizar la eficacia de la mezcla y la cantidad de absorbentes y aglomerantes que deben añadirse, así como para identificar una «fórmula» óptima que pueda usarse en el tratamiento posterior a escala real si se considera que la corriente de residuos en cuestión es adecuada. Cualquiera de estos tests debe tener en cuenta los efectos de las diferentes corrientes de residuos que se están tratando en el mismo lote y, además, identificar un tiempo de residencia mínimo dentro del recipiente de la reacción. Tienen que guardarse los registros de los residuos que ya han sido probados, indicando si han sido aceptados o rechazados para el proceso de tratamiento correspondiente (véase el apartado 4.1.1);
- c. tratar con aglomerantes o aditivos secundarios los inhibidores identificados en la formulación de los aglomerantes. La cuestión clave es confirmar que éste es el caso mediante estudios de tratabilidad para cada corriente de residuos;

- d. especificar el período durante el cual las muestras deben estar disponibles para análisis. Hace falta incluir una referencia al tiempo transcurrido hasta que el producto final ha alcanzado la estabilidad completa (véase más abajo el apartado de efectos cruzados);
- e. demostrar cómo se tratarán los lotes de residuos que no tienen la conformidad;
- f. testar la lixivialidad de los compuestos inorgánicos, usando los procedimientos estandarizados CEN para la lixivialidad de compuestos inorgánicos y aplicando el nivel de test apropiado: caracterización básica, prueba de conformidad o comprobación in situ;
- g. realizar los procedimientos de aceptación cuando los residuos llegan a la instalación, incluyendo los tests de lixivialidad en todas las cargas antes del tratamiento, para confirmar los niveles de sustancias indicadoras importantes que se identificaron en la fase previa a la aceptación;
- h. analizar los siguientes compuestos que pueden causar problemas de vertido: Cl, CN, F, sulfatos, hidrocarburos, HAP, PCB, fenoles, As, Cd, Cr total, Cr(VI), Hg, Ni, Pb y Zn.

Beneficios ambientales obtenidos

Un laboratorio en la misma instalación constituye el elemento esencial para garantizar que los controles necesarios de entrada del proceso estén presentes y que se generen unos residuos de salida consistentes.

Efectos cruzados

Los sistemas basados en el cemento o en la cal pueden tardar años en estabilizarse y décadas o siglos o incluso más tiempo en alcanzar un equilibrio con el ambiente. Por ello, hablar de estabilidad completa puede ser técnicamente poco realista.

Aplicabilidad

En relación con la técnica f en el anterior apartado de descripción, los tratamientos físico-químicos se aplican a materiales monolíticos y granulares (por ejemplo, tratamiento de las cenizas de fondo).

En referencia a la técnica g en el anterior apartado de descripción, algunas veces se ha cuestionado si está justificada ambientalmente o económicamente la realización de una prueba de lixiviación en todas las cargas antes del tratamiento en el caso de las corrientes de residuos bien caracterizadas o si hay un mínimo de tamaño de carga.

Motivo principal para su aplicación

La Directiva de vertederos 1999/31/CE y la decisión del Consejo 2003/33/CE (CEN) tratan de los parámetros que hay que tener en cuenta para determinar si un residuo puede verterse:

- la Directiva de vertederos (1999/31/CE) especifica los principios de caracterización de los residuos antes del vertido, los cuales son: a) la aplicación del procedimiento de caracterización de 3 pasos (caracterización básica, prueba de conformidad y comprobación in situ) y b) el anexo II de la Directiva de vertidos estipula que hace falta conocer con la máxima precisión los parámetros de composición, lixivialidad, comportamiento a largo plazo y las propiedades generales de los residuos que deben verterse;
- los procedimientos CEN especifican qué tipos de pruebas deben usarse y en qué condiciones;
- la decisión 2003/33/CE establece los criterios y los procedimientos para la aceptación de residuos en los vertederos. Esto incluye los criterios de aceptación de los residuos, el muestreo y los métodos de test.

Respecto a la aplicación de la técnica h (en el apartado de descripción más arriba), cabe decir que en Francia los HAP y los PCB no se analizan sistemáticamente antes de la estabilización. El análisis sólo se lleva a cabo cuando éstos se encuentran en grandes cantidades (una conclusión que puede obtenerse a partir del origen los residuos).

Bibliografía

[51, Inertec, et al., 2002], [55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

4.3.2.3 Inmovilización

Descripción

Algunas técnicas son:

- a. definir un rango aceptable de propiedades de los residuos que pueden ser tratados eficazmente por el proceso. Este rango se determinará por la capacidad del proceso para inmovilizar la sustancia química o el ión en cuestión y garantizar así que el producto final cumple unos requisitos determinados;
- b. utilizar recipientes de reacción diseñados apropiadamente para todos los procesos de inmovilización;
- c. realizar dichos procesos dentro de recipientes de reacción controlados. Dado el nivel de control del proceso que se necesita para garantizar que las proporciones de residuos y reactivos y aglomerantes que entran en el proceso sean las correctas y que se logre una mezcla y un tiempo de residencia suficientes, es esencial que los recipientes alcancen dichos objetivos. También se necesitarán mecanismos automáticos de carga y mezcla que puedan ser monitorizados y controlados;
- d. una monitorización adecuada del proceso dentro de sistemas cerrados y con reducción de las emisiones;
- e. aplicar procedimientos previos a la aceptación para evaluar los residuos;
- f. implantar medidas para restringir las sustancias polvorosas;
- g. limitar los residuos a aquéllos con bajas concentraciones de COV o componentes olorosos (véanse más abajo las secciones de aplicabilidad y efectos cruzados);
- h. emplear métodos de carga controlados y cerrados;
- i. mezclar los reactivos y los residuos usando impulsores o sistemas de mezcla integrados en el recipiente de la mezcla;
- j. utilizar alimentadores a hélice, medios gravitatorios o neumáticos para los sistemas de manipulación de transferencias generales de residuos secos y reactivos;
- k. sustituir la necesidad de decantar los residuos líquidos de los bidones y contenedores utilizando depósitos «de repuesto» separados para mezclar previamente los líquidos y los lodos que se pueden bombear;
- l. hacer llegar la materia prima a través de tuberías hasta el recipiente de mezcla;
- m. usar los sistemas de extracción diseñados para tener en cuenta la eliminación de los grandes volúmenes de aire presente debido a las dimensiones de las áreas de mezcla y la necesidad de que haya acceso para los vehículos para la carga y la descarga. También será necesario demostrar que el diseño de los sistemas de extracción es capaz de controlar todas las emisiones previstas, aparte de las de las situaciones de emergencia;
- n. disponer de un sistema central de disminución para encargarse del caudal de aire y también de las puntas de carga asociadas con la carga y la descarga;
- o. detallar los métodos de tratamiento y eliminación de todas las soluciones intravalvulares y absorbentes del reactor consumidos (por ejemplo, el carbón activo y las emisiones no utilizables);
- p. disponer de un programa de inspección regular y mantenimiento que incluya:
 - la sustitución de los recipientes subterráneos o parcialmente subterráneos sin contención secundaria por estructuras de superficie,
 - la sustitución de estructuras sin contención secundaria;
- q. realizar tratamientos físico-químicos, como las reacciones de neutralización en la fase líquida, para aumentar la mezcla y el proceso de control;
- r. garantizar que las reacciones de neutralización en la fase sólida se han llevado a cabo hasta la finalización de la reacción;
- s. usar aglomerantes hidráulicos complementados con reactivos químicos específicos, especialmente para:
 - la fijación del mercurio en forma de HgS y $\text{Hg}_3(\text{SO}_4)_2$;
 - la fijación de metales en forma de lodos de hidróxidos de metales (por ejemplo Zn, Pb, Cu, Cr y Cd) como compuestos insolubles y por solidificación;

- la reducción del cromo hexavalente en condiciones básicas (por ejemplo con FeSO_4), seguida de precipitación y solidificación;
 - la fijación de compuestos orgánicos de dichos lodos de la industria química que contienen sulfatos y sales orgánicas, seguida de una precipitación de los sulfatos para garantizar la duración de la estructura, por ejemplo añadiendo arcilla para adsorber los compuestos orgánicos;
 - un alto contenido de arsénico (por ejemplo, de la industria química o metalúrgica o a partir del tratamiento del mineral) por oxidación del As (III), seguida de estabilización y solidificación;
- t. considerar la posibilidad de incrementar la calidad del producto final usando aditivos (por ejemplo, reactantes hidrofóbicos, etc.);
- u. no depender únicamente de los procesos de estabilización para la eliminación de los residuos que no se pueden o son difíciles de tratar y también caros de incinerar. Entre éstos se encuentran los cianuros sólidos, los agentes oxidantes, los agentes quelantes, los residuos con altos niveles de COT, los residuos que contienen disolventes con un punto de inflamabilidad bajo y las botellas para gas;
- v. limitar la cantidad de reactivos (incluyendo los aglomerantes químicos y físicos y los reactivos de solidificación) que se pueden añadir para evitar la dilución;
- w. disponer de un especialista con práctica en inmovilización para cuando sea necesario y usar aglomerantes especializados desarrollados en pruebas de laboratorio para una corriente de residuos específica.

Beneficios ambientales obtenidos

Aumenta el rendimiento ambiental de las técnicas de inmovilización (por ejemplo, reducción de la permeabilidad, reducción de la superficie específica, tamponamiento químico, etc.). La estabilización es un proceso frío y por tanto no requiere energía. Los residuos de salida de estas técnicas tienen normalmente unas propiedades fisico-químicas y de lixiviación muy buenas. Al ser un proceso frío, los gases y la contaminación atmosférica son menores (por ejemplo, los generados por el uso de combustibles). Se puede conseguir una permeabilidad de $3,7 \cdot 10^{-11}$ m/s en el producto final cuando se usa cemento como inmovilizador.

Efectos cruzados

Las proporciones de residuos de salida respecto a los de entrada se sitúan en el rango de 1,2-1,4 en peso y generalmente entre 0,9-1,4 en volumen (debido al incremento típico de la densidad de los residuos de salida comparados con los de entrada). De esta manera, el proceso conduce a un incremento del peso y a un cambio menor del volumen.

Para evitar las emisiones de COV (véase la técnica g en el anterior apartado de descripción), los residuos que contienen COV podrían tratarse en un recipiente de mezcla cerrado (por ejemplo los molinos para amasar arcilla), tratando los COV emitidos que no se han solidificado, por ejemplo, en reactores. Estos tratamientos secundarios pueden evitar la doble manipulación (por ejemplo, la desorción térmica para ocuparse de los COV seguida de una estabilización o solidificación para ocuparse de los metales).

La inmovilización no es capaz de reducir el contenido de ningún contaminante en los residuos, sólo cambia la composición química por medio de algunas reacciones químicas. Típicamente, los residuos orgánicos no se inmovilizan por estabilización o solidificación, sino que se adsorben típicamente por el material sólido. Independientemente del resultado final del proceso de estabilización y solidificación, se considera que los residuos de salida no son estables durante un período largo y que los componentes de dichos residuos pueden escapar (por ejemplo, lixiviación).

El probable aumento del pH y de la capacidad alcalina de la mezcla gracias a este tratamiento puede llevar a un incremento de las propiedades de lixiviación de los metales anfóteros (plomo y cadmio con un pH superior a 12,5), de las sustancias sensibles al pH como el arsénico y los cianuros, así como algunos compuestos orgánicos.

Datos operativos

Esta técnica es fácil de usar y es un proceso relativamente simple. El consumo energético del tratamiento es bajo. Cuando se usa cemento como material estabilizador, la proporción de residuos que van a tratarse respecto al cemento usado es de 1:3 y 1:4, dependiendo del tipo de residuos.

Aplicabilidad

Estas técnicas son probablemente más eficaces en el tratamiento de residuos inorgánicos, la solubilidad de los cuales ya es bastante baja. Con esta técnica se puede tratar un amplio rango de residuos (líquidos, sólidos, muchos contaminantes químicos, cenizas, etc.). Los residuos que contienen cromatos, metales anfóteros como el Pb y el Zn y los residuos con cierta cantidad de sales solubles necesitan un pretratamiento antes del proceso de inmovilización. Algunos de los residuos no aptos para la inmovilización son, entre otros:

- los residuos inflamables y altamente inflamables (por ejemplo, los disolventes con bajo punto de inflamabilidad);
- los residuos que contienen sustancias volátiles. Algunas veces se pueden aceptar concentraciones muy bajas de COV;
- los agentes oxidantes. Algunas veces se pueden aceptar concentraciones muy bajas de agentes oxidantes;
- los residuos olorosos. Algunas veces se pueden aceptar cantidades muy pequeñas de materiales olorosos;
- los residuos que contienen restos orgánicos muy solubles y una cantidad elevada de DQO;
- los residuos que contienen molibdeno;
- los residuos que contienen sales inorgánicas solubles;
- los cianuros sólidos. Algunas veces se pueden aceptar concentraciones muy bajas de cianuros;
- los agentes quelantes. Algunas veces se pueden aceptar concentraciones muy bajas de agentes quelantes.

Algunos de los residuos arriba mencionados pueden ser tratados con algunos reactivos específicos. Por ejemplo el cemento (como se muestra en la tabla 4.26) y la cal son compatibles con los agentes oxidantes.

Aspectos económicos

Los procesos fríos se consideran técnicas atractivas desde el punto de vista económico. Requieren normalmente un equipamiento simple y suponen una inversión (mezcladores de hormigón, silos, bombas, etc.) y unos costes operativos bajos.

Los reactivos y aglomerantes se usan, cuando es posible, para reducir los costes del tratamiento (cenizas volátiles de centrales eléctricas, escoria de las fresas de acero, residuos de los hornos de cemento, etc.). Los operadores no están siempre en la posición (a causa de la normativa, de la disponibilidad en el entorno, del interés por un residuo específico, etc.) de usar los residuos como reactivos, aunque por supuesto es, en general, una opción económicamente viable.

Motivo principal para su aplicación

La Directiva de vertederos 1999/31/CE. La simple dilución física o la absorción, que no conducen a ningún cambio físico-químico asociado, no son procesos de tratamientos aceptables. Por ejemplo, la absorción de un líquido con serrín, de manera que ya no represente un residuo líquido, no es aceptable como pretratamiento para el vertido.

Instalaciones de ejemplo

13 instalaciones estabilizan alrededor de 400 kt de residuos peligrosos antes de verterlos, según la normativa francesa y, desde 2004-2005, conforme a la regulación de la CE. También hay unidades móviles disponibles para tratar ciertos residuos puntuales en instalaciones industriales.

En Portugal, una instalación estabiliza cenizas volátiles, provenientes de la incineración de RSM, antes de su vertido.

Bibliografía

[51, Inertec, et al., 2002], [52, Ecodeco, 2002], [53, LaGrega, et al., 1994], [55, UK EA, 2001], [136, Straetmans, 2003], [150, GTT, 2004]

4.3.2.4 Solidificación con cemento

Descripción

En general, los residuos se mezclan con cemento Pórtland y aditivos para controlar las propiedades del cemento y con suficiente agua para garantizar que se producirán las reacciones de hidratación y el cemento se ligará. Tienen lugar los procesos de estabilización y solidificación. Los residuos se incorporan de este modo en la matriz de cemento. Típicamente, los residuos de entrada reaccionarán con el agua y el cemento para formar, hasta cierto punto, hidróxidos o carbonatos metálicos que son normalmente menos solubles que los compuestos metálicos originales en la matriz de residuos.

Las técnicas de solidificación que utilizan cemento se basan en el uso de un equipamiento que normalmente está disponible sin problemas. La mezcla y la manipulación asociadas a los procesos están bien desarrolladas y la técnica es robusta con respecto a las variaciones de las propiedades de los residuos de entrada.

El producto solidificado se vierte ya sea en superficie o en depósitos subterráneos. En algunos países se puede utilizar como material de relleno en viejas minas de sal.

Beneficios ambientales obtenidos

La principal ventaja de la solidificación con cemento es el contacto reducido entre el agua y los residuos de entrada y, hasta cierto punto, la formación de hidróxidos o carbonatos metálicos menos solubles. También pueden tratarse los metales anfóteros. El producto solidificado es relativamente fácil de manipular y el riesgo de formación de polvo es muy bajo. Normalmente, la liberación a corto plazo de metales pesados a partir de los productos es relativamente baja. La técnica facilita, en algunos casos, la utilización de los residuos de salida como materiales de relleno o para la construcción en la industria minera.

Recientemente, se han obtenido avances en esta tecnología con la incorporación de aditivos para atrapar los contaminantes difíciles antes de la encapsulación. Se consideran contaminantes difíciles el arsénico, el plomo, los fenoles (incluido el PCP), los PCB y las dioxinas. Existen pruebas de que el cemento puede catalizar o participar en la descloración reductora de TCE.

Efectos cruzados

La mayoría de estudios se centran en las posibles emisiones de contaminantes a corto plazo provenientes de los residuos de salida. Se conoce mucho menos sobre el comportamiento a largo plazo de dichos residuos. Cabe esperar que la lixiviación de la cal con el paso del tiempo cambie las propiedades químicas de los residuos de salida y también que se produzca una mayor lixiviación a medida que descienda el pH. No obstante, se prevé que el tiempo necesario para la liberación completa a partir de los residuos de salida estabilizados se sitúe en el rango de varios centenares o hasta mil años. El alto nivel de pH de los sistemas que utilizan cemento puede resultar en una lixiviación importante de metales anfóteros (Pb y Zn).

El inconveniente de este método es que no dificulta la lixiviación de las sales solubles y esto puede resultar eventualmente en la desintegración física del producto solidificado, permitiendo de esta manera una mayor lixiviación. En este caso, la entrada de aire puede provocar cierta gasificación, corrigiendo parcialmente el aumento de la porosidad y la pérdida de concentración.

Al añadir el cemento y los aditivos, aumenta la cantidad de residuos que hay que manipular; típicamente un 30-40 % del peso en seco de los residuos de entrada se añade en forma de cemento y aditivos, mientras que entre el 30 y el 100 % del peso total en seco se añade en forma de agua. Por consiguiente, los residuos de salida aumentan típicamente de 20-30 kg/t de residuos de entrada hasta alrededor de 40-60 kg/t de residuos, incluyendo la adición de agua correspondiente al 50 % del peso total en seco.

Si no se recuperan los metales pesados de los residuos, que es un proceso posible pero económicamente y energéticamente costoso, los contaminantes se liberarán tarde o temprano. Debe ponerse énfasis en el hecho de que estas perspectivas de tiempo significan que la mayor parte de los metales en cuestión se liberarán en un momento en el cual todas las actividades de recogida de lixiviados de los vertederos ya se habrán interrumpido desde hace años. Además, la situación del depósito podrá haberse olvidado, ya que para entonces el área en cuestión habrá sido usada probablemente para otros propósitos durante mucho tiempo.

El cemento puede contener algunos componentes tóxicos como cenizas de combustible pulverizadas, polvo de horno de cemento, escoria de altos hornos y betún.

Datos operativos

El consumo de energía y de agua varía y no se ha cuantificado. El funcionamiento y el control del equipo que se utiliza es relativamente simple y comparable al de algunas prácticas estándar en la industria del hormigón.

Aplicabilidad

La solidificación se lleva a cabo normalmente en instalaciones especializadas que se encuentran cerca del destino del material final; así, las incineradoras individuales no necesitan instalar equipos de solidificación. La técnica puede usarse con todo tipo de residuos del TGC. La solidificación con cemento también se ha usado con muchos otros tipos de residuos peligrosos, incluida la eliminación de residuos de baja radiactividad. Se puede encontrar más información sobre la aplicabilidad de la técnica del cemento en la tabla 4.26 del siguiente apartado 4.3.2.5.

Aspectos económicos

En la mayoría de casos, los residuos de entrada pueden entregarse en las instalaciones existentes. Los costes del tratamiento con cemento son de aproximadamente 25 EUR/t de residuos de entrada.

Motivo principal para su aplicación

La técnica es relativamente fácil de usar y el conocimiento técnico necesario está al alcance de todos. Las propiedades de lixiviación del producto solidificado mejoran considerablemente en comparación con las de los residuos de entrada no tratados. Las autoridades de muchos países han considerado durante mucho tiempo, y todavía consideran, que la estabilización de los residuos del TGC por medio de la solidificación con cemento es aceptable. El motivo principal para implantar esta tecnología en los Países Bajos ha sido la falta de capacidad de los vertederos de residuos peligrosos.

Instalaciones de ejemplo

Esta técnica es probablemente el método usado más a menudo para el tratamiento de los residuos del TGC y se usa ampliamente en Europa y Japón. A continuación se indican algunos ejemplos de solidificación con cemento:

País	Características
Austria	Una instalación de solidificación con cemento para la escoria y las cenizas de los RSM está en funcionamiento en Viena.
Alemania	Varias compañías mineras de extracción de sal aceptan diversos tipos de residuos (por ejemplo, residuos del TGC, escorias, material de la demolición de edificios, etc.) y aplican la solidificación con cemento usando los residuos como material de relleno. Los residuos de salida solidificados se utilizan sobre todo como material de relleno o de refuerzo. En el caso de algunas minas, la solidificación con cemento tiene lugar en una instalación central que usa diferentes recetas según el destino final y los requisitos. Desde dicha instalación central, el producto se transporta a la mina receptora.
Suecia	En un vertedero en Hogdalan, los residuos del TGC solidificados con cemento se moldean en bloques y se vierten en superficie después de su endurecimiento.
Suiza	En Suiza se usa una variante de la solidificación con cemento, patrocinada inicialmente por el gobierno suizo y Sulzer, mediante la cual los residuos de entrada se lavan con agua (la relación líquido-sólido es 2:1) y se deshidratan antes de mezclarlos con el cemento. Esto tiene la ventaja de eliminar la mayor parte de las sales solubles de los residuos de entrada, mejorando así la longevidad del producto solidificado. Tras haberse solidificado, los residuos de salida se depositan en vertederos de superficie antes de endurecerse. En algunas instalaciones, la mezcla se echa a unos moldes para producir bloques que luego se transportan a los vertederos de superficie.

Tabla 4.25: Ejemplos de solidificación con cemento
[124, Iswa, 2003], [150, GTT, 2004]

Bibliografía

[113, COWI A/S, 2002], [124, Iswa, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.3.2.5 Uso de otros reactivos en el proceso de inmovilización

Descripción

Algunas técnicas son:

- a. la encapsulación con betún,
- b. la carbonización usando CO₂,
- c. la inmovilización con minerales arcillosos.

Beneficios ambientales obtenidos

Las partículas de las cenizas volátiles pueden encapsularse con betún, restringiéndose de esta manera el contacto con el agua. Esto mejora las propiedades de lixiviación de las cenizas volátiles, probablemente al permitir que se liberen menos metales pesados que en el caso de la solidificación con cemento.

Los restos de la incineración de residuos se pueden estabilizar por gasificación (usando CO₂) más que por hidratación (con o sin adición de cemento). La gasificación tiene un efecto muy grande sobre la lixiviación del Pb y el Zn y resulta en un producto de pH más bajo (alrededor de 9) pero sin pérdida de la capacidad de neutralización del ácido.

Efectos cruzados

Respecto a la encapsulación con betún, no se ha encontrado información sobre la posible lixiviación de dioxinas de las partículas de cenizas solidificadas, pero se sabe que el método de solidificación no reduce por sí solo el contenido original de éstas.

Aplicabilidad

Componentes de los residuos	Reactivo basado en cemento	Reactivo basado en puzolana	Reactivo termoplástico	Reactivo de polímero orgánico
Orgánicos no polares como: <ul style="list-style-type: none"> • aceites y grasas • hidrocarburos aromáticos • hidrocarburos halogenados • PCB 	Puede impedir el fraguado. Disminución de la durabilidad durante un largo período. Los volátiles pueden escapar durante la mezcla. Eficacia demostrada en ciertas condiciones.	Puede impedir el fraguado. Disminución de la durabilidad durante un largo período. Los volátiles pueden escapar durante la mezcla. Eficacia demostrada en ciertas condiciones.	Los compuestos orgánicos pueden evaporarse con el calor. Eficacia demostrada en ciertas condiciones.	Puede impedir el fraguado. Eficacia demostrada en ciertas condiciones.
Orgánicos polares como: <ul style="list-style-type: none"> • alcoholes • fenoles • ácidos orgánicos • glicoles 	El fenol retardará significativamente el fraguado y reducirá la durabilidad a corto y a largo plazo.	El fenol retardará significativamente el fraguado y reducirá la durabilidad a corto y a largo plazo. Los alcoholes pueden retardar el fraguado.	Los compuestos orgánicos pueden evaporarse con el calor.	Ningún efecto significativo sobre el fraguado.
Ácidos: <ul style="list-style-type: none"> • ácido clorhídrico • ácido fluorhídrico 	Ningún efecto significativo sobre el fraguado. El cemento neutralizará los ácidos. Con los tipos II y IV de cemento Pórtland se obtienen mejores propiedades de durabilidad que con el tipo I. Eficacia demostrada.	Ningún efecto significativo sobre el fraguado. Compatible, neutralizará los ácidos. Eficacia demostrada.	Puede neutralizarse antes de la incorporación.	Puede neutralizarse antes de la incorporación. Se ha demostrado que el formaldehído de urea es eficaz.
Oxidantes como: <ul style="list-style-type: none"> • hipoclorato sódico • permanganato potásico • ácido nítrico • dicromato potásico 	Compatible	Compatible	Puede causar un fallo en la matriz. Riesgo de incendio.	Puede causar un fallo en la matriz. Riesgo de incendio.
Sales como: <ul style="list-style-type: none"> • sulfatos • haluros • nitratos • cianuros 	Aumenta el tiempo de fraguado. Disminución de la durabilidad. Los sulfatos pueden retardar el fraguado y causar fisuración a no ser que se use un cemento especial. Los sulfatos aceleran otras reacciones.	Los haluros se filtran fácilmente y retardan el fraguado. Los sulfatos pueden retardar o acelerar las reacciones.	Los sulfatos y los haluros pueden deshidratarse y volverse a hidratar, causando separación.	Compatible
Metales pesados como: <ul style="list-style-type: none"> • arsénico • cadmio • cromo • plomo • mercurio 	Compatible. Puede incrementar el tiempo de fraguado. Eficacia demostrada en ciertas condiciones.	Compatible. Eficacia demostrada con ciertas sustancias (plomo, cadmio y cromo).	Compatible. Eficacia demostrada con ciertas sustancias (cobre, arsénico y cromo)	Compatible. Eficacia demostrada con arsénico.

Tabla 4.26: Aplicabilidad de los reactivos para la estabilización de sólidos [53, LaGrega, et al., 1994]

La encapsulación con betún se ha usado sólo para las cenizas volátiles y no con los residuos de los sistemas secos y semisecos de TGC, indicando que éstos pueden presentar problemas.

Instalaciones de ejemplo

El tratamiento de solidificación con betún se ha puesto en práctica en los Países Bajos, la gasificación de los restos de la incineración de residuos en el Reino Unido y la inmovilización con minerales arcillosos en Austria.

Bibliografía

[53, LaGrega, et al., 1994], [124, Iswa, 2003], [150, GTT, 2004],

4.3.2.6 Estabilización con fosfatos

Descripción

Se realiza una estabilización química usando fosfatos como agentes estabilizantes. El proceso de tratamiento es relativamente simple y consiste en un aparato mezclador (como un molino para amasar arcilla) en el cual se introducen los residuos de entrada a una velocidad controlada. Entonces se añaden al mezclador unos fosfatos solubles de marca registrada. Una vez los fosfatos se han mezclado a fondo con los residuos de entrada, un transportador al final del mezclador elimina el producto tratado. En algunos casos, dependiendo de las características de los residuos de entrada, también se utilizan otros aditivos como la cal. La cinética de la reacción es rápida y se considera que el material está totalmente tratado sin estabilización adicional. A veces se añaden fosfatos junto con una gasificación para unir algunos en los residuos (por ejemplo, Pb).

Beneficios ambientales obtenidos

El proceso retiene sales en los residuos de salida. En comparación con otros procesos similares, se añaden cantidades relativamente pequeñas de agua junto con los fosfatos. El proceso no produce aguas residuales.

Efectos cruzados

No hay actualmente sugerencias para la utilización del producto tratado. Es posible que se produzca una lixiviación importante después del vertido, como en el caso de algunos metales pesados, debido a un aumento de la solubilidad (por ejemplo, con el Cd). Se prevé que la emisión de sales y metales pesados en el vertedero sea mayor que en el caso de otros tratamientos. La estabilización con fosfatos puede aumentar la movilidad de los compuestos de fósforo de los residuos depositados. En un caso se ha visto que la disponibilidad del total de fosfatos aumentó desde 2 mg/kg (antes del tratamiento) hasta 4900 mg/kg (después del tratamiento).

Datos operativos

Es probable que las cantidades específicas de agua y fosfatos, así como de otros aditivos, varíen según las propiedades de los residuos de entrada, aunque no existen cuantificaciones al respecto.

Aplicabilidad

En todos los casos, excepto en uno, el proceso se implanta como una unidad integrada en la incineradora, pero también podría montarse para funcionar como una instalación centralizada para tratar los residuos de más de una incineradora. El proceso se desarrolló en un principio para tratar los residuos de las incineradoras de RSM, aunque se han probado otros tipos diversos de residuos (por ejemplo, tierra contaminada, escorias, lodos, etc.).

Aspectos económicos

El coste del tratamiento es de aproximadamente 15 EUR/t de residuos del TGC. Además, se paga un canon por el uso del proceso patentado que asciende a 5-10 EUR/t. Los costes de inversión se sitúan entre 150.000-500.000 EUR por instalación, dependiendo del equipo existente.

Motivo principal para su aplicación

El motivo principal para la implantación de esta técnica es la sencillez del tratamiento. En la actualidad, su aplicación comercial es muy amplia en los Estados Unidos, Japón y Taiwán. Generalmente se acepta que el producto tratado es apto para su vertido en estos países.

Instalaciones de ejemplo

El proceso se usa actualmente en los Estados Unidos, Japón y Taiwán en aproximadamente 90 instalaciones incineradoras de RSM, las cuales tratan más de 2 millones de toneladas de cenizas de fondo y residuos del TGC cada año.

Bibliografía

[124, Iswa, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.3.2.7 Tratamientos térmicos de los residuos sólidos**Descripción**

Estas técnicas son la vitrificación y la fusión de los residuos sólidos (véase el apartado 2.3.3.2). Su aplicación a los residuos sólidos de las incineradoras se discute en el BREF sobre incineración de residuos.

Beneficios ambientales obtenidos

Pueden usarse varias técnicas para calentar los residuos sólidos: sistemas eléctricos de fusión, sistemas quemadores de combustibles o fusión de explosión. Éstas se diferencian únicamente en la forma de transferir el material sólido. En general, las técnicas se inspiran en los hornos utilizados en la producción de hierro y acero.

Dependiendo del sistema de fusión, se pueden recuperar las aleaciones metálicas de la cámara de reacción. En función de la temperatura de la cámara de reacción y del estado de oxidación o reducción de la fase gaseosa, los metales pesados (especialmente el Cd y el Pb) pueden volatilizarse y eliminarse con los gases de escape. Todas las configuraciones del proceso necesitan sistemas de tratamiento de los gases de escape para minimizar las emisiones.

Una ventaja inherente a estos procesos es la destrucción de los contaminantes orgánicos, por ejemplo, las dioxinas. Las instalaciones para el tratamiento térmico normalmente reducen el volumen alrededor del 30-50 % del volumen de entrada. Típicamente, la fusión aumenta la densidad de los productos en 2,4-2,9 t/m³.

Los productos fundidos y vitrificados tienen generalmente unas propiedades de retención muy buenas, pero unos estudios suizos muestran que los productos sinterizados también alcanzan más o menos el mismo nivel de estabilidad en lo que se refiere a la retención. La vitrificación produce típicamente los productos más estables y densos.

Efectos cruzados

Un inconveniente importante de estas técnicas es que requieren cantidades considerables de entrada de energía.

La vitrificación y la fusión producen una movilización de elementos volátiles como el Hg, el Pb y el Zn durante el tratamiento, hecho que es utilizado en algunos procesos, en combinación con otros parámetros, para producir un producto reciclable con un bajo contenido de metales pesados. Debido a la liberación de metales pesados evaporados durante el proceso, el tratamiento térmico necesita un sistema adicional para el tratamiento de los gases de combustión.

Los procesos de tratamiento térmico usan cantidades considerables de energía. Además, los procesos producen residuos sólidos durante el tratamiento de los gases de escape. Por otro lado,

los metales pueden recuperarse y, en algunos casos, incluso puede reciclarse el producto vitrificado.

Datos operativos

Normalmente se consumen entre 700 y 1200 kWh de energía por tonelada de material tratado para alcanzar y mantener las elevadas temperaturas, aunque se han registrado cifras de hasta 8000 kWh. El consumo energético y el funcionamiento varían según el tipo de horno y el diseño de la instalación.

Aplicabilidad

Normalmente, los residuos de entrada deben cumplir ciertos requisitos, por ejemplo: contenido de agua < 5 %, contenido no quemado < 3 %, contenido de metales < 20 % en peso y tamaño de las partículas de ceniza < 100 mm.

El tratamiento térmico se usa para tratar las cenizas de fondo y también para las combinaciones de éstas con residuos del TGC. Debido al contenido de sales y metales pesados típicamente alto en los residuos del TGC, el tratamiento separado de dichos residuos puede necesitar un tratamiento extensivo de los gases de escape, reduciendo de esta manera las ventajas globales de tratar estos materiales por separado.

Aspectos económicos

La técnica es normalmente bastante cara comparada con otras opciones de tratamiento. Los costes de tratamiento son del orden de 100-500 EUR/t de material entrante. Los costes de inversión podrían ser de aproximadamente 20 millones de EUR para una instalación con una capacidad de 1-1,5 t/h.

Motivo principal para su aplicación

El motivo principal para la implantación de la técnica son las buenas propiedades de retención del producto final (especialmente en el caso de la vitrificación) y la reducción considerable en volumen. En las áreas con alta densidad de población, como Japón, la capacidad de los vertederos puede ser un recurso escaso y, por tanto, los vertidos pueden resultar relativamente caros. Los compuestos orgánicos como las dioxinas y los furanos se destruyen casi por completo.

Instalaciones de ejemplo

Hay entre 30 y 40 instalaciones de fusión y vitrificación en Japón y también funcionan algunas en Europa y los Estados Unidos.

País	Características		
EE. UU.	Un proceso de vitrificación incluye unos pasos iniciales tales como la extracción de agua, la deshidratación y el secado a 500 °C antes de añadir los aditivos que forman el vidrio y la fusión. El lavado y el secado iniciales se llevan a cabo para eliminar los cloruros y el carbón orgánico residual.		
Japón	Instalaciones para el tratamiento térmico de las cenizas de fondo y los residuos del TGC:		
	Funcionando	Planificadas	Capacidad (t/día)
<i>Fusión eléctrica:</i>			
Arco eléctrico	4	2	655
Arco de plasma	4	2	183
Resistencia eléctrica	2	3	148
<i>Quemador:</i>			
Superficie reflectora	12		209
Superficie rotatoria	5		84
<i>Fusión de explosión:</i>			
Lecho de coque	3		170
Combustión del carbón residual	15		
Total	31	7	1464

Tabla 4.27: Instalaciones de tratamiento térmico
[124, Iswa, 2003]

Bibliografía

[124, Iswa, 2003], [150, GTT, 2004]

4.3.2.8 Recuperación de sales por disolución/evaporación**Descripción**

Cuando se producen residuos sólidos, se puede considerar su potencial recuperación. La recuperación de sales (por ejemplo, NaCl, CaCl₂, HCl y yeso) puede ser una posibilidad. Estos productos podrían obtenerse mediante evaporación o recristalización de las sales a partir de los sistemas de limpieza de gases de combustión de las aguas residuales, ya sea localmente o en una instalación centralizada de evaporación.

Cuando el fluido del reactor se trata separadamente y se somete a evaporación, se pueden obtener productos valorizables como sales o ácido clorhídrico. El potencial de reutilización de dichos productos depende en gran parte de la calidad del producto. Durante la valorización de las sales, el líquido del reactor se trata con hidróxido sódico y carbonato cálcico para producir yeso sólido, el cual, después de haberlo separado, deja un líquido que contiene principalmente cloruro sódico y cálcico. Los productos valorizados están sujetos a un control de calidad o incluso se tratan adicionalmente para mejorar la calidad y luego son ajustados.

Beneficios ambientales obtenidos

El objetivo principal de la operación es evitar el vertido de aguas residuales salinas al sistema de alcantarillado. Esto se consigue evaporando el líquido del reactor del sistema de tratamiento de gases de combustión.

Si hace falta separar el cloruro sódico sólido de la solución anterior, esto se consigue por evaporación de la solución hasta un contenido de sales de más del 30 %, un nivel en el cual la sal pura cristaliza. Los productos salinos recuperados se reutilizan mayormente en las áreas con una demanda invernal de sal fundente.

La reutilización de las sales valorizadas y del yeso puede ahorrar recursos naturales.

Efectos cruzados

Los grandes inconvenientes de la evaporación exterior de aguas residuales para las sales, no sólo relacionados con los problemas operativos y materiales, sino también con el alto consumo energético necesario para la evaporación.

Datos operativos

La evaporación de aguas residuales que contienen sales depende de la concentración de éstas, la cual puede ser muy variable. Aparte de los problemas de corrosión, hay que tener en cuenta los costes de inversión y funcionamiento relativamente altos.

Para la producción de yeso sólo existen unos pocos problemas operativos. Sin embargo, la calidad del yeso viene determinada no sólo por su pureza respecto a la presencia de otros componentes no deseados, sino también por su color. Normalmente cabe esperar una producción de productos reciclables de aproximadamente 2-5 kg/t de residuos.

Al producir cloruro cálcico, hay que poner atención en el potencial de corrosión extremo que se puede originar y el riesgo de un cambio de fase involuntario de un estado sólido a uno líquido y viceversa.

Aplicabilidad

Se puede aplicar en incineradoras de residuos municipales con sistemas de tratamiento de gases de combustión. Para los incineradoras de RSM con depuración húmeda de los gases de combustión de la incineración, no se permite el vertido de las aguas residuales debido a la

legislación y las exigencias locales. Las aguas residuales limpias de los reactores húmedos todavía contendrán sales que normalmente no son deseables en el sistema de alcantarillado ya que pueden causar corrosión o incrementar el contenido de sales de los cursos de agua dulce. Por este motivo, las aguas residuales normalmente se tratan térmicamente y, cuando se usan las aguas residuales para refrigerar, mediante inyección y evaporación en los gases de combustión sin refinar de la incineradora. Aquí no se obtienen productos valorizables.

La evaporación de las aguas residuales salinas tratadas se puede realizar tanto en las instalaciones centralizadas como en las descentralizadas. En el último caso, la propia incineradora de RSM podría suministrar la energía necesaria para la evaporación.

Para la producción de yeso, esto podría conseguirse principalmente sólo con cambios operativos, por ejemplo implantación y funcionamiento de aparatos de deshidratación adecuados, como ciclones, bombas, etc.

Aspectos económicos

Los costes de la evaporación y el almacenamiento de los productos valorizados son varias veces los costes de la producción de las mismas sales a partir de recursos naturales. Así, esta técnica se aplica principalmente por motivos ambientales más que por motivos económicos.

Debido a la producción de grandes cantidades de yeso de alta calidad a partir de los procesos de producción de energía en las centrales eléctricas, el yeso producido en las incineradoras de RSM de la manera descrita más arriba se usa sólo para las aplicaciones con una menor demanda de yeso de calidad. Si la reutilización no es posible, entonces el yeso tiene que eliminarse y esto implica el coste correspondiente.

Motivo principal para su aplicación

Debido a la legislación, debe minimizarse el vertido del líquido del reactor de los sistemas húmedos para los gases de combustión. A pesar de que las aguas residuales se tratan intensivamente para eliminar, por ejemplo, los metales pesados y otras impurezas peligrosas, esto difícilmente afecta a la cantidad total de sales. Una reducción importante de las emisiones de sal de la incineradora de RSM al área que la rodea sólo se consigue por medio de la evaporación del líquido del reactor. Al separar el yeso sólido, se reduce la cantidad de residuos del TGC que deben eliminarse.

Instalaciones de ejemplo

Los procesos evaporadores se han implantado con éxito en varios países, especialmente en Alemania, donde varias instalaciones incineradoras han aplicado esta tecnología.

Bibliografía

[124, Iswa, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.3.2.9 Extracción con ácido

Descripción

Varias técnicas usan la extracción con ácido; algunos ejemplos se muestran en la tabla 4.28:

Proceso	Características
Proceso de extracción con ácido	Este proceso combina una extracción con ácidos de los metales pesados solubles y de las sales por medio del purgado del reactor ácido. El mercurio se elimina antes de usar el líquido del reactor, por filtración (cuando el carbón activo se introduce en el reactor) o usando un intercambiador iónico específico. Tanto las cenizas de la caldera como las cenizas volátiles se tratan de esta manera. La tasa L/S durante la extracción es aproximadamente 4; el pH se controla a 3,5 con la adición de cal hidratada. El sulfato del reactor de SO ₂ precipita en forma de yeso dentro del tiempo de residencia de 45 min. El residuo sólido se deshidrata, luego se lava contracorriente en un filtro de banda

	y finalmente se vierte, mezclado normalmente con cenizas de fondo. El filtrado debe tratarse para eliminar los metales pesados mediante neutralización, precipitación e intercambio de iones. La torta de filtración deshidratada y aclarada contiene alrededor del 25 % del cinc y se recicla por tanto en procesos metalúrgicos.
Combinación de extracción con ácido más tratamiento térmico	Este proceso combina la extracción con ácido con un tratamiento térmico. Primero, las cenizas de la caldera y las cenizas volátiles se lavan con la solución del reactor húmedo de la primera fase, y se deshidratan. Luego los residuos sólidos se tratan en un horno rotatorio durante una hora a unos 600 °C para destruir la mayor parte de los compuestos orgánicos y volatilizar el Hg. Los gases de filtración se tratan en un filtro de carbón activo. Las aguas residuales se tratan para eliminar los metales pesados. La solución del segundo reactor se usa para lavar las cenizas de fondo y para neutralizar las corrientes ácidas de efluentes.
Proceso de extracción con ácido más sulfuro	Este proceso combina las cenizas volátiles y la solución del reactor de NaOH con agua a una tasa L/S de 5. Después de mezclarlo, se ajusta el pH entre 6 y 8 con HCl para extraer los metales pesados y se añade NaHS para unir los metales como sulfuros. Entonces se añade un agente de coagulación y se deshidrata la lechada. La torta de filtración se vierte y las aguas residuales se tratan en la unidad de tratamiento posterior para eliminar los metales pesados.

Tabla 4.28: Tecnologías de extracción con ácidos
[124, Iswa, 2003], [150, GTT, 2004]

Beneficios ambientales obtenidos

El proceso puede eliminar una parte significativa del total de metales pesados en los residuos de entrada (Cd: ≥ 85 %; Zn: ≥ 85 %; Pb y Cu: ≥ 33 %; Hg: ≥ 95 %); la lixivialidad del material se reduce en un factor de 10^2 - 10^3 . El cinc, el cadmio y el mercurio se reciclan.

Efectos cruzados

El contenido de dioxinas de las cenizas de fondo aumenta cuando se eliminan combinadas con las cenizas tratadas; sin embargo, el potencial de lixiviación de la mezcla es más alto a causa de la mayor densidad.

Datos operativos

La mayoría de las instalaciones que funcionan las 24 horas pueden adaptar el período operativo semanal (4-7 días) en función de los residuos del TGC que se generen.

Aplicabilidad

El sistema puede usarse sólo en las incineradoras con un sistema húmedo de TGC que tengan un permiso para verter aguas residuales tratadas.

Aspectos económicos

Los costes del proceso de tratamiento de los residuos del TGC se sitúan entre 150 y 250 EUR/t (incluyendo los gastos del reciclaje de la torta de filtración del cinc).

Motivo principal para su aplicación

Esta técnica proporciona un método para tratar los residuos sólidos, según la legislación suiza, con unos costes competitivos (comparados con los de la exportación a los vertederos subterráneos alemanes).

Instalaciones de ejemplo

La primera instalación arrancó en 1996. Actualmente, 6 instalaciones funcionan en Suiza y 1 en la República Checa.

Bibliografía

[124, Iswa, 2003], [152, GTT, 2004]

4.3.2.10 Excavación y eliminación de la tierra contaminada

Descripción

Algunas técnicas son:

- a. la identificación y la aplicación de vías que reduzcan las emisiones fugitivas mediante la gestión correcta de las instalaciones,
- b. introducir el remedio dentro de un domo y aplicar el tratamiento en el aire,
- c. controlar la velocidad de excavación, la extensión del área de tierra contaminada que está expuesta y el tiempo que los montones de tierra pasan descubiertos. La temporización de la excavación también puede ser importante. Se pueden reducir las emisiones al programar la excavación durante los momentos del día o las estaciones del año en los cuales la velocidad del viento y las temperaturas son bajas. El trabajo también puede programarse para evitar las estaciones en las cuales la tierra está seca y así minimizar aún más las emisiones.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce las emisiones fugitivas producidas durante la excavación y eliminación de la tierra contaminada. También se puede controlar la emisión de COV controlando las condiciones de funcionamiento dentro de los parámetros predefinidos.

Efectos cruzados

Algunas emisiones de contaminantes volátiles son inevitables durante las excavaciones. Las condiciones de viento estancado pueden llevar a unas concentraciones ambientales de aire no aceptables en el lugar de trabajo.

Aplicabilidad

La introducción del remedio dentro de un domo no es una medida de uso habitual.

Bibliografía

[30, Eklund, et al., 1997]

4.3.2.11 Desorción térmica de la tierra

Descripción

Véase el apartado 2.3.3.9. Algunas técnicas son:

- a. el uso de un test a pequeña escala para determinar la idoneidad de la desorción térmica y el mejor tiempo de residencia y temperatura que deben usarse. La eficacia de la desorción térmica está relacionada con la temperatura que finalmente alcanza la tierra, la cual a su vez es una función del tiempo de residencia y la transmisión de calor. Se ha demostrado que las temperaturas y tiempos de residencia que son efectivos en los sistemas a pequeña escala también lo son en los sistemas a escala experimental;
- b. la aplicación de la temperatura apropiada. El rango típico de temperaturas para el tratamiento de los combustibles derivados del petróleo que se filtran desde los depósitos subterráneos de almacenamiento es de 200-480 °C. Para el tratamiento de la tierra que contiene pesticidas, dioxinas y PCB, las temperaturas tienen que superar los 450 °C;
- c. la disminución de la humedad de la tierra que se va a tratar hasta un rango especificado, debido al coste que supone el tratamiento de residuos con un alto contenido de agua. El típico rango de humedad aceptado para los secadores rotativos y los hornos de asfalto es del 10-30 %, mientras que los sistemas térmicos tipo tornillo pueden contener unas mayores cargas de agua del 30-80 %. Para eliminar los COV, la tierra debe tener idealmente una humedad del 10-15 % ya que el vapor de agua puede arrastrar alguno de los COV;
- d. disponer de equipamiento de recogida y control como poscombustión, oxidantes térmicos, filtros de tela, carbón activo o condensadores para el tratamiento de gases.

Beneficios ambientales obtenidos

Flexibilidad, ya que con la desorción térmica se puede tratar un amplio rango de contaminantes orgánicos y los sistemas pueden ser móviles. Los dispositivos de desorción térmica funcionan a temperaturas más bajas, por lo que se puede producir un ahorro importante de combustible en comparación con la incineración. También producen volúmenes más pequeños de gases de combustión para ser tratados. Las especificaciones típicas para los sistemas de desorción térmica se muestran en la tabla 4.29.

	Secador rotatorio	Planta de asfalto	Tornillo	Horno transportador
Movilidad	Fijo y móvil	Fijo	Móvil	Móvil
Tamaño típico de la instalación (t)	450 – 23.000	0 – 9.000	450 – 4.500	450 – 5.000
Rendimiento de tierra (t/h)	9 – 45	23 – 90	3 – 14	5 – 9
Tamaño máximo de alimentación de tierra (cm)	5 – 8	5 – 8	3 – 5	3 – 5
Método de transmisión de calor	Directo	Directo	Indirecto	Directo
Método de mezcla de la tierra	Rotación y elevadores	Rotación y elevadores	Taladro	Agitadores de tierra
Temperatura tierra vertida (°C)	150 – 300 ^a 300 – 650 ^b	300 – 600	150 – 250 ^c 300 – 250 ^d 500 – 850 ^e	300 – 800
Tiempo de residencia de la tierra (minutos)	3 – 7	3 – 7	30 – 70	3 – 10
Temperatura del gas de escape del dispositivo de desorción térmica (°C)	250 - 450 ^a 400 – 500 ^b	250 – 450	150	500 – 650
Flujo gases/sólidos	A corriente o contracorriente	A corriente o contracorriente	No aplicable	Contracorriente
Atmósfera	Oxidativa	Oxidativa	Inerte	Oxidativa
Temperatura poscombustión (°C)	750 – 1000	750 – 1000 ^f	No usado generalmente	750 – 1000
Trabajo térmico máximo (MJ/h ^g)	10.500 – 105.000	5300 – 105.000	7400 – 10.500	10.500
Tiempo de calentamiento desde el estado frío (h)	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0	No publicado	0,5 – 1,0
Tiempo de enfriamiento desde el estado caliente (h)	1,0 – 2,0	1,0 – 2,0	No publicado	No publicado
Hidrocarburos totales derivados del petróleo Concentración inicial (mg/kg) Concentración final (mg/kg) Eficacia de eliminación (%)	800 – 35.000 < 10 – 300 95,0 – 99,9	500 – 25.000 ^h < 20 ^h No publicado	60 – 50.000 ND – 5500 64 – 99	5000 < 10,0 > 99,9
BTEX Concentración inicial (mg/kg) Concentración final (mg/kg) Eficacia de eliminación (%)	No publicado < 1,0 No publicado	No publicado No publicado No publicado	155 < 1,0 > 99	No publicado < 0,01 No publicado
^a Materiales de construcción de acero semiduro ^b Materiales de aleación para la construcción ^c Sistema de transmisión de calor de aceite caliente ^d Sistema de transmisión de calor de sales fundidas ^e Sistema calentado eléctricamente ^f No usado en todos los sistemas ^g Trabajo total del dispositivo de desorción térmica más la poscombustión ^h Información del vendedor				

Tabla 4.29: Comparación de las características de la desorción térmica y los sistemas de tratamiento de los gases emitidos [30, Eklund, et al., 1997]

Efectos cruzados

Para destruir los contaminantes, el proceso de desorción necesita una poscombustión y un tratamiento de gases residuales adicionales. El motivo es que la desorción simplemente los quita de la fase sólida o líquida y los transfiere a la fase gaseosa. Se necesitan por tanto mecanismos para controlar las emisiones a la atmósfera. La eficacia del proceso de desorción térmica variará con las propiedades físicas y químicas de los contaminantes específicos. Los metales (por ejemplo, el Pb) tienden a quedarse en la tierra después del tratamiento, por lo que puede ser necesario un procesamiento o tratamiento adicional de la tierra, como por ejemplo la estabilización. Los dispositivos de desorción térmica pueden funcionar cerca o por encima de los 500 °C y se puede producir por tanto una cierta pirólisis y oxidación, además de la evaporación de agua y compuestos orgánicos.

Aplicabilidad

Es aplicable a las tierras contaminadas con compuestos volátiles a las temperaturas de funcionamiento. Los compuestos orgánicos de alto peso molecular ensuciar o tapan los filtros de

manga o los sistemas condensadores. Por tanto, los tipos de productos derivados del petróleo que pueden ser tratados con tecnologías específicas son limitados. Los secadores rotativos pueden tratar típicamente tierras que tienen un contenido orgánico inferior al 2 %. Las unidades térmicas tipo tornillo pueden tratar tierras que contienen hasta un 50 % de compuestos orgánicos.

Aspectos económicos

Típicamente más barato que la incineración.

Motivo principal para su aplicación

La desorción térmica se diferencia de la incineración en lo que se refiere a los requisitos normativos y de permisos. Y tal vez lo más importante es que la desorción térmica goza de una mayor aceptación pública en comparación con otros métodos de tratamiento térmico.

Bibliografía

[30, Eklund, et al., 1997], [51, Inertec, et al., 2002], [150, GTT, 2004]

4.3.2.12 Extracción de vapores

Descripción

Véase el apartado 2.3.3.10. Los vapores, a medida que se eliminan de los residuos sólidos, se tratan para reducir las emisiones a la atmósfera. La combustión directa es teóricamente posible si el contenido de hidrocarburos de los gases de escape es suficientemente alto, pero la concentración desciende normalmente de manera significativa durante la eliminación. Por tanto, se necesitaría gas natural o algún otro combustible para mantener la combustión. Normalmente, por motivos de seguridad, también se lleva a cabo una dilución con aire para mantener la concentración de COV por debajo del límite inferior de explosión. La oxidación catalítica o la adsorción con carbón puede ser eficaz en caso de que los niveles de hidrocarburos sean más bajos.

Beneficios ambientales obtenidos

Las emisiones a la atmósfera se liberan a partir de una fuente puntual y, por tanto, pueden controlarse fácilmente. El éxito del método varía según la volatilidad (presión del vapor) de los contaminantes presentes.

Efectos cruzados

Una contaminación residual significativa puede permanecer en los residuos sólidos después del tratamiento.

Datos operativos

El equipo es de fácil instalación y funcionamiento.

Aplicabilidad

El tratamiento se aplica a la tierra excavada. Sin embargo, no es aplicable en las tierras saturadas o en las tierras con baja permeabilidad para el aire, pero es aplicable para el tratamiento de tierra contaminada con PCB.

Aspectos económicos

Se pueden tratar grandes volúmenes de tierra excavada de manera rentable.

Bibliografía

[30, Eklund, et al., 1997], [100, PNUMA, 2000], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.3.2.13 Lavado de tierra

Descripción

Véase el apartado 2.3.3.13. Algunas técnicas incluyen:

- reciclar las aguas de despresurización todo lo posible,
- usar filtros de carbón para el tratamiento de las emisiones a la atmósfera procedentes de la instalación de residuos o de la unidad de lavado de tierra,
- garantizar que los lodos y los sólidos producidos durante el tratamiento de las aguas residuales estén sujetos a un tratamiento y eliminación apropiados.

Beneficios ambientales obtenidos

Instalación	Contaminantes	Concentración en la tierra no tratada (ppm)	Rango de eficacias de eliminación (%)	Concentraciones residuales (ppm)
1	Aceites y grasas		50 – 83	250 – 600
2	Pentaclorofenol		90 – 95	< 115
	Otros compuestos orgánicos		85 – 95	< 1
3	Petróleo y grasa		90 – 99	< 5 – 2400
4	COV		98 –> 99	< 50
	Compuestos orgánicos semivolátiles		98 –> 99	< 250
	La mayoría de combustibles		98 –> 99	< 2.200
5	Aromáticos		> 81	> 45
	Petróleo bruto		97	2.300
6	Orgánicos totales		96	159 – 201
	HAP		86 – 90	91,4 – 97,5
7	Petróleo		> 99	20
8	Hidrocarburos		96,3	82,05
	Hidrocarburos clorados		> 75	< 0,01
	Aromáticos		99,8	< 0,02
	HAP		95,4	15,48
9	Fuelóleo	7.666	65	2.650
10	Fuelóleo	7.567	73	2.033
11	Fuelóleo	9.933	72	2.833

Tabla 4.30: Resumen de los datos de rendimiento del lavado de tierra [30, Eklund, et al., 1997]

A continuación, la tabla 4.30 presenta algunas eficacias generales indicativas para el tratamiento de lavado de tierra.

Contaminantes	Eficacia general ¹
TPH (C ₁₀ -C ₄₀)	90 – 98
HAP	90 – 97
BTEX	90 – 97
PCB	90 – 97
Metales	
As	60 – 80
Cd	60 – 80
Cr	80 – 90
Cu	75 – 85
Hg	85 – 95
Ni	85 – 90
Pb	90 – 95
Zn	85 – 95

¹ Eficacia general = (1– conc. en arena descontaminada / conc. en tierra contaminada) * 100

Tabla 4.31: Eficacias del lavado de tierra para diferentes componentes

[123, Perseo, 2003]

Bibliografía

[30, Eklund, et al., 1997], [123, Perseo, 2003]

4.3.2.14 Extracción con disolventes

Descripción

Véase el apartado 2.3.3.11.

Beneficios ambientales obtenidos

Compuesto	Concentración inicial (mg/kg)	Concentración final (mg/kg)	Eliminación (%)
Antraceno	28,3	0,12	99
Benceno	30,2	0,18	99
Benzopireno	1,9	0,33	83
Bis-(2-etilexil)ftalato	4,1	1,04	75
Criseno	6,3	0,69	89
Etilbenceno	30,4	0,23	99
Naftaleno	42,2	0,66	98
Fenantreno	28,6	1,01	96
Pireno	7,7	1,08	86
Tolueno	16,6	0,18	99
Xilenos totales	13,2	0,98	93

Tabla 4.32: Resultados del tratamiento de los lodos del separador API mediante extracción con disolventes

[30, Eklund, et al., 1997]

Aplicabilidad

Se aplica en la eliminación de los PCB de la tierra. El disolvente contaminado debe entonces ser tratado para destruir los PCB.

Bibliografía

[30, Eklund, et al., 1997], [100, PNUMA, 2000]

4.3.2.15 Evaporación

Descripción

Típicamente, la evaporación es una parte importante de las instalaciones para el tratamiento físico-químico. En la instalación de evaporación se concentran los residuos peligrosos, los cuales se queman a continuación. Las aguas residuales (el condensado) se almacenan temporalmente y, después del análisis y control, se transportan a una planta de tratamiento de aguas residuales. El aire de escape se limpia con un filtro de carbón.

Antes de la evaporación, en las instalaciones de tratamiento físico-químico se llevan a cabo algunos pretratamientos, como la floculación, la precipitación, la ultrafiltración y la separación orgánica. Después de la evaporación, se realiza una floculación del condensado si está contaminado con aceite. El aire de escape se trata con un reactor básico y un filtro de carbón.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce la cantidad de aguas residuales producidas. Los niveles alcanzables en el aire de escape y en las aguas residuales se muestran a continuación en la tabla 4.32.

Compuesto	Valor	Unidad	Carga	Unidad
<i>Parámetros del aire de escape</i>				
COT	63	mg/Nm ³	96	kg/año
<i>Parámetros de las aguas residuales producidas</i>				
Temperatura	30	°C		
pH	9,3			
Conductividad	900	μS/cm		
Sustancias sedimentarias (105 °C)	0,1	mg/l	2	kg/año
DBO	3000	mg/l	60.000	kg/año
DQO	5000	mg/l	100.000	kg/año
Hidrocarburos	2	mg/l	40	kg/año
Fenol		mg/l		kg/año
AOX	0,1	mg/l	2	kg/año
Nitrito	0,01	mg/l	0,2	kg/año
Cianuro	0,02	mg/l	0,4	kg/año
Al	2	mg/l	40	kg/año
Fe	0,1	mg/l	2	kg/año
As	0,01	mg/l	0,2	kg/año
Cr total	0,1	mg/l	2	kg/año
Cr(VI)	0,01	mg/l	0,2	kg/año
Cu	0,1	mg/l	2	kg/año
Hg	0,001	mg/l	0,02	kg/año
Ni	0,1	mg/l	2	kg/año
Pb	0,1	mg/l	2	kg/año
Zn	0,1	mg/l	2	kg/año
Residuos tratados: 20.000 toneladas anuales				

Tabla 4.33: Niveles alcanzables durante el proceso de evaporación de las aguas residuales [147, UBA, 2003]

Bibliografía

[147, UBA, 2003]

4.3.2.16 Purificación y reciclaje de los residuos del TGC

Descripción

Entre los principales componentes de los residuos del TGC que contienen sodio se encuentra el cloruro sódico (como resultado de la neutralización con HCl), el sulfato sódico (como resultado de la neutralización con SO₂), carbonato sódico (como resultado del exceso de bicarbonato sódico), las cenizas volátiles y los adsorbentes (carbón activo o coque de lignito).

En los sistemas de filtración única de los gases de combustión, las cenizas volátiles se mezclan con las sales de neutralización y la parte soluble representa aproximadamente el 50 % de los residuos de entrada; en los sistemas de doble filtración de los gases de combustión, el primer filtro atrapa la mayor parte de las cenizas volátiles, mientras que los residuos del TGC que contienen sodio y que son recogidos por el segundo filtro contienen aproximadamente el 90 % de las sales solubles.

El proceso consta de los pasos siguientes:

- a. mezclar los residuos del TGC con aglomerantes hidráulicos: prepara la solidificación de la parte insoluble;
- b. disolver en agua e incorporar aditivos: la parte soluble se disuelve y la mayoría de los metales pesados precipitan;
- c. filtrar esta suspensión: los productos resultantes forman una torta de filtración, que solidifica por sí sola, con una fracción soluble muy pequeña (después del lavado) y una salmuera sin refinar;

- d. depurar la salmuera (con varios pasos, incluidas las resinas para el intercambio de iones) de tal modo que pueda reutilizarse en la fabricación del carbonato sódico (sosa).

Este proceso no tiene más productos de salida que la torta de filtración solidificada (para verter) y la salmuera depurada, que sustituye parte de las materias primas nuevas utilizadas por la instalación fabricante de sosa. No hay ningún efluente líquido.

Beneficios ambientales obtenidos

La tecnología aquí descrita es la encargada de la separación de las partes soluble e insoluble de los residuos del TGC, solidificando la última y depurando y reutilizando la primera (compuesta por sales inorgánicas) en algunas industrias. Por consiguiente:

- la parte sólida de los residuos del TGC que se vierte tiene una fracción soluble muy pequeña y por tanto su solidificación es mejor; además, el consumo de aglomerantes hidráulicos es menor y también se produce una menor cantidad de residuos finales;
- la parte soluble de los residuos del TGC se reutiliza en la industria química, remplazando el uso de materias nuevas (la sal es una de las materias primas principales en las instalaciones de sosa). Esta parte soluble se recicla con una tasa superior al 95 %.

Los tratamientos no producen efluentes líquidos (todos los líquidos se reutilizan como agua del proceso para elaborar la salmuera reciclada) y no hay emisiones importantes a la atmósfera (proceso a temperatura ambiente).

Efectos cruzados

No identificados.

Datos operativos

El proceso no requiere una entrada alta de energía, funciona a temperatura ambiente.

Aplicabilidad

Se aplica a los residuos procedentes de los procesos de limpieza de los gases de combustión con bicarbonato sódico en seco que tienen lugar durante la incineración de los residuos sólidos municipales. Este proceso se implanta en instalaciones especializadas y centralizadas situadas cerca de la instalación de sosa y que usan la salmuera depurada, las cuales reciben los residuos del TGC de varias instalaciones incineradoras de RSM.

Aspectos económicos

Este proceso es comparable con la solidificación y el vertido de los residuos del TGC. Desde este punto de vista, (1) la separación de la parte soluble facilita mucho la solidificación y (2) la cantidad de residuos finales se reduce, por lo que este proceso resulta competitivo en algunos países. Los costes de funcionamiento son bajos y el coste de la inversión de la instalación de tratamiento es el factor clave. Así, este proceso debe implantarse en unidades centralizadas que proveen a diversas instalaciones incineradoras.

Motivo principal para su aplicación

Este proceso se ve favorecido por los siguientes desarrollos:

- un reglamento riguroso sobre los vertidos: cuando se necesita una solidificación segura;
- la resistencia a nuevos proyectos de vertederos, ya que se tiende a verter lo menos posible;
- la tendencia a promocionar el reciclaje.

Instalaciones de ejemplo

Dos instalaciones trabajan industrialmente usando este proceso o ligeras variaciones del mismo: una en Italia (Toscana), con una capacidad de 10 kt anuales de residuos del TGC y la otra en Francia (Lorena), con una capacidad de 50 kt anuales de residuos. Ambas suministran salmuera depurada como materia prima para una instalación de sosa.

Bibliografía

[150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.3.3 Tratamientos físico-químicos de residuos específicos

4.3.3.1 Tratamiento de aceites contaminados con PCB

Descripción

El proceso consiste en la deshalogenación de aceites contaminados con PCB procedentes de transformadores eléctricos. El proceso también permite la eliminación de productos de oxidación y de compuestos de bajo punto de ebullición, que son responsables de las reducidas propiedades dieléctricas del aceite contaminado. Al final del proceso tiene lugar un proceso de filtración para eliminar los subproductos de la reacción.

Beneficios ambientales obtenidos

El proceso produce un aceite con unas propiedades dieléctricas que posibilitan su reutilización para el mismo fin, con un contenido de PCB inferior a 1 ppm.

Aplicabilidad

Se aplica a transformadores con contenidos de PCB de entre 25 ppm y 2000 ppm. El proceso puede aplicarse a:

- deshalogenación y valorización de aceites minerales acumulados en viejos transformadores y contaminados con PCB.
- limpieza y valorización de transformadores operativos que contienen aceites minerales contaminados con PCB. Este paso se efectúa mediante la recirculación del aceite mineral deshalogenado y permite la extracción de los PCB residuales absorbidos por los distintos componentes de los transformadores (por ejemplo, papel y madera).

Aspectos económicos

El rango de concentración mencionado en el apartado Aplicabilidad es el rango típico en el que tiene que desarrollarse esta técnica para que resulte económicamente viable. Técnicamente, esto no es un problema cuando se aplica a concentraciones mayores, pero se ha descubierto que existen otros tipos de procesos de tratamiento de PCB económicamente más viables.

Motivo principal para su aplicación

Existen sistemas móviles que pueden aplicarse a transformadores en funcionamiento sin necesidad de moverlos.

Instalaciones de ejemplo

Hay un ejemplo operativo en Italia.

Bibliografía

[52, Ecodeco, 2002], [150, GTT, 2004]

4.3.3.2 Conversión termoquímica del amianto residual

Descripción

La tecnología de conversión termoquímica utiliza una combinación de tratamiento químico y calor para producir una remineralización del amianto y otros materiales silicatados. El proceso de remineralización cumple varios objetivos, que incluyen:

- conversión de minerales con amianto en minerales sin amianto sin necesidad de fusión,
- destrucción de compuestos orgánicos por pirólisis u oxidación,
- inmovilización de metales y radionucleidos.

El proceso implica triturar el material con amianto y luego mezclarlo con fundentes y calentar esta mezcla. La presencia de fundentes a elevadas temperaturas (aproximadamente 1200 °C) provoca la rápida desmineralización de las fibras de amianto, que se convierten en minerales sin amianto como dióxido, wollastonita, olivino y vidrio.

El equipo de procesamiento está formado por cuatro sistemas primarios, que son: la preparación de la entrada, el convertidor de crisol giratorio, el tratamiento de efluentes gaseosos y la eliminación del producto.

La pirólisis de los compuestos orgánicos tiene lugar en el crisol giratorio. Los productos de la pirólisis se dirigen a través de una corriente inducida a una unidad de oxidación térmica que destruye cualquier contaminación residual orgánica que pueda estar presente en los efluentes gaseosos. Desde el oxidante térmico, los efluentes gaseosos se enfrían y se elimina toda partícula y componente ácido que pueda estar presente. La presencia de desmineralizantes acelera la difusión molecular en residuos inorgánicos durante el caldeo, lo cual destruye los compuestos inorgánicos como el amianto y genera una oxidación simultánea y una unión molecular de metales y radionucleidos en el medio residual. Esto provoca la inmovilización de metales y radionucleidos. El proceso también resulta en una reducción importante del volumen del residuo. La cantidad de reducción del volumen depende del tipo de material que se trata y puede oscilar entre el 10 % para suelos y más del 90 % para materiales que contienen amianto o materiales predominantemente orgánicos.

Beneficios ambientales obtenidos

La tecnología proporciona una eficacia de tratamiento equivalente a la de la vitrificación sin necesidad de fusión del residuo. En concreto:

- convierte los materiales con amianto en materiales inertes,
- genera una reducción notable del volumen del residuo. El volumen del producto tratado puede reducirse considerablemente desde el residuo original (hasta el 90 %), pero en última instancia puede requerir el vertido controlado en función de los contaminantes presentes.

El proceso también provoca la destrucción de sustancias orgánicas, incluidos los PCB, con una eficacia de destrucción y eliminación del 99,9999 %. Los metales tóxicos se estabilizan en el producto sinterizado por unión molecular y el desarrollador de la tecnología considera que, sobre la base de las pruebas preliminares, el proceso también será eficaz con radionucleidos.

Aplicabilidad

Así mismo, el proceso resulta eficaz con otros tipos de residuos, incluidos los escombros y los residuos predominantemente orgánicos. La tecnología es aplicable a residuos líquidos y sólidos razonablemente homogéneos o que pueden serlo sin demasiados gastos. El proceso puede tratar residuos contaminados con una gran variedad de contaminantes, que incluyen contaminantes orgánicos como COV, compuestos orgánicos semivolátiles, PCB y dioxinas; contaminantes inorgánicos como amianto y cianuro; metales como arsénico, plomo, cromo, bario, cinc, selenio, cadmio, radionucleidos que pueden vitrificarse como elementos transuránicos, cesio, torio y uranio; y combinaciones de estos materiales.

Entre los residuos para los que existen datos limitados o para los que se cree que la tecnología no resulta económicamente viable o técnicamente compatible, se incluyen el mercurio, radionucleidos gaseosos como el ¹⁴C, explosivos y algunos agentes químicos (aunque en este último caso se cree que la tecnología podría ser aplicable, pero no se tienen datos que corroboren esta afirmación).

Aspectos económicos

La tecnología proporciona una eficacia de tratamiento equivalente a la de la vitrificación sin necesidad de fusión del residuo. Esto hace que la tecnología sea menos costosa y más versátil que la vitrificación de ciertos residuos. El coste de capital para las 37 toneladas diarias por unidad es de aproximadamente 3 millones de dólares. Con los supuestos presentados al final de

este apartado, un sistema de 37 toneladas diarias puede tratar materiales con amianto por aproximadamente 175-225 dólares por tonelada.

Los tres contribuyentes principales al coste general son el combustible, el equipo y la mano de obra. El combustible representa aproximadamente el 36 % del coste total; el equipo, el 30 %; y la mano de obra, sobre el 22 %. Otros elementos como reactivos, mantenimiento, agua, electricidad, equipos de protección personal y filtros constituyen el 12 % restante del coste total.

Las estimaciones de los costes presentadas en este apartado se basan en los siguientes supuestos:

- descripción del sistema: 37 toneladas diarias, directamente horneadas con recuperación de calor, con reactor seco con cal,
- coste de capital: basado en un período de recuperación de capital de 7 años con una tasa de descuento real del 3,0 % (2002),
- condiciones operativas: funcionamiento 24 h/día, eficacia en funcionamiento del 80 %, equipo de 9 personas,
- el coste incluye combustible (keroseno), electricidad, sustancias químicas del proceso, equipos de protección personal, mantenimiento regular y filtros HEPA,
- los gastos generales y beneficios también están incluidos,
- la eliminación de los materiales tratados no está incluida,
- el transporte a la instalación de tratamiento no está incluido.

Motivo principal para su aplicación

El amianto residual se suele eliminar mediante vertido controlado. No obstante, algunos amiantos pueden estar contaminados con radionucleidos, PCB o metales. Por esta razón, esos materiales pueden requerir pretratamiento antes del vertido.

Instalaciones de ejemplo

Actualmente se ha propuesto una nueva instalación en Irlanda.

Bibliografía

[94, USA DoE, 2002], [150, GTT, 2004]

4.3.3.3 Tratamiento de residuos que contienen mercurio

Descripción

Algunas técnicas consisten en:

- a. pretratar el residuo que contiene mercurio de la siguiente manera:
 - triturando/machacando pilas y pilas de botón;
 - clasificando/rompiendo/separando termómetros y contactores;
 - centrifugando los lodos que contienen mercurio para eliminar la mayoría del mercurio metálico. El lodo residual tiene un bajo contenido en mercurio y se trata en un proceso de destilación al vacío;
 - triturando/tamizando lámparas fluorescentes, eliminando el hierro y separándolo en fracciones. El polvo fluorescente con contenido de mercurio se trata en un proceso de destilación al vacío;
 - tratando las lámparas fluorescentes mediante calor y frío para romper los extremos y luego soplando el polvo fluorescente con contenido de mercurio. Se puede añadir una unidad de selección a esta técnica de pretratamiento. Esto detecta los polvos para soplarlos selectivamente. Es posible reutilizar los polvos.
- b. llevar a cabo esta secuencia de tratamientos:
 - separa y concentra el mercurio por evaporación y condensación,

- tratar los efluentes gaseosos con filtros de polvo y filtros de carbón activo,
 - devolver el polvo y el carbón contaminado del tratamiento del gas al proceso.
- c. tratar el destilado (fracciones orgánicas y de agua):
- incinerándolo en un incinerador de residuos;
 - conduciendo los gases de la destilación por un posquemador (aproximadamente a 850 °C) y un condensador. Los efluentes gaseosos se limpian mediante un tratamiento de gas de combustión (por ejemplo reactor, filtro de polvo y filtro de carbón activo). El polvo separado y el carbón contaminado se devuelven al recipiente de destilación. Esta alternativa aumenta la tasa de recuperación.
 - purificando la fracción de agua (tras la separación) y devolviendo el depósito al recipiente de destilación. Esta alternativa aumenta la tasa de recuperación.

Beneficios ambientales obtenidos

El mercurio se recicla como materia prima secundaria. El destino del residuo del recipiente de vacío depende del residuo tratado. Puede utilizarse como materia prima secundaria (por ejemplo para pilas) o bien desecharse por vertido controlado (por ejemplo en el caso de lodo con contenido de mercurio).

En una instalación de remediación térmica de suelos, con una producción de 2 t/h de suelo con contenido de mercurio y concentraciones de gas crudo de mercurio de hasta 20 mg/Nm³, se ha registrado una tasa de eliminación máxima de 99,9 %. Así mismo, se ha notificado que el contenido de mercurio del suelo (1-300 mg/kg) disminuyó por debajo de los 5 mg/kg tras el tratamiento térmico. Otro tratamiento determinó en 0,0015 % el porcentaje de mercurio emitido al aire. Las emisiones oscilan entre 0,04 y 0,2 mg/Nm³.

En la destilación al vacío del lodo con contenido de mercurio (1-4 % de mercurio), se recupera el 99,6 % del mercurio. Aproximadamente el 0,1 % del mercurio queda en el residuo y el 0,15 % queda en el destilado, que debe ser incinerado. Este último porcentaje acaba en los efluentes gaseosos. Mediante el filtro de carbón activo, el 99,9% de este mercurio se separa. La máxima concentración de mercurio en el residuo es de 50 mg/kg de MS.

Efectos cruzados

- consumo de energía para el proceso de destilación y posible pretratamiento,
- consumo de carbón activo y agua en el tratamiento del gas,
- emisiones al aire.

Datos operativos

El consumo de electricidad para calentar el recipiente de vacío y para la bomba de vacío asciende a 3,5 GJ/t de residuo. El consumo de agua de refrigeración es de aproximadamente 13 t/t de residuo con contenido de mercurio. Para el tratamiento del lodo con un contenido del 2 % de mercurio, el carbón activo necesario asciende a 24 kg/t de lodo.

Debido a la naturaleza peligrosa de los vapores que contienen mercurio, se precisan medidas de seguridad. Éstas incluyen sistemas de escape; mediciones de prueba; cierres; procedimientos de seguridad para el llenado, el vaciado y la (des)conexión de los recipientes de vacío; y las instalaciones de descontaminación. Para minimizar el riesgo de explosión, se aplican otras medidas de seguridad, como un funcionamiento hermético del sistema, un control automático de la presión, y áreas libres de humo y chispas.

Aplicabilidad

La destilación al vacío es aplicable a lodos que contienen mercurio del sector de la producción de aceites y gases, pilas, catalizadores, filtros de carbón activo, termómetros, residuos del sector dental, tubos fluorescentes, arena abrasiva y suelo. Los distintos flujos de residuos se tratan por separado en la destilación al vacío. Las capacidades de los ejemplos de instalaciones oscilan entre 300 y 600 t/a de residuo con contenido de mercurio.

Motivo principal para su aplicación

- el vertido controlado está prohibido para varios residuos que contienen mercurio. En comparación con la incineración o el vertido directo del residuo con contenido de mercurio, la cantidad de residuo es menor y no contiene mercurio, y se evita la difusión al medio ambiente.
- el orden de preferencia para la gestión de residuos de acuerdo con la Directiva marco sobre residuos y el VI Programa de Acción Ambiental de la Unión Europea.

Instalaciones de ejemplo

Una instalación de remediación térmica de suelos en Suecia, dos instalaciones de ejemplo en los Países Bajos para el tratamiento de destilación al vacío. Ejemplos de instalaciones en las que se aplica pretratamiento: una en los Países Bajos (trituration de lámparas fluorescentes) y una en Bélgica (tratamiento de ruptura de extremos y soplado de aire).

Bibliografía

[81, VDI y Dechema, 2002], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004], [156, VROM, 2004]

4.4 Técnicas que deben considerarse para tratamientos aplicados principalmente a valorizar materiales de los residuos

Este apartado contiene las técnicas que se considera que tienen un buen rendimiento operativo ambiental (por ejemplo el uso de un buen sistema de energía) o que pueden ayudar a conseguir un buen rendimiento ambiental (por ejemplo sistemas de gestión ambiental). Están relacionadas con tratamientos para valorizar principalmente materiales de los residuos.

4.4.1 Aceite usado

Este apartado cubre las técnicas que hay que considerar en la determinación de las MTD para el rerrefinado del aceite usado.

4.4.1.1 Técnicas genéricas para aumentar el rendimiento del rerrefinado

Descripción

El rendimiento de una instalación de rerrefinado varía entre el 55 y el 75 % en función del proceso y, en menor grado, de la composición del aceite usado. Algunas técnicas que aumentan la eficacia incluyen:

- a. enviar el residuo de la columna de destilación al vacío a una unidad de selectopropano, donde el 80 % de la base parafínica bright stock se puede valorizar y al mismo tiempo reducir el contenido de residuo,
- b. enviar el residuo de fondo de la columna de destilación al vacío a una unidad de craqueo térmico para producir gasóleo,
- c. seleccionar el vacío adecuado en las unidades de destilación al vacío (por ejemplo un grupo de tres etapas con eyectores de vapor a 17 mmHg). El vacío puede garantizarse con bombas de vacío en seco o con inyectoros de vapor multietapa de alta eficacia.
- d. usar una unidad de depuración para reducir las emisiones de COV y valorizar la materia prima,
- e. emplear tamices para eliminar partículas como la fibra polimérica
- f. tener en su lugar un depósito intermedio entre el deshidrotratamiento y las destilaciones para separar los materiales que pueden ensuciar el siguiente apartado de la instalación (es decir, el horno y la columna de destilación) y también utilizar un tiempo de residencia suficiente para que tenga lugar la reacción aditiva con el aceite usado de lubricante. El precipitado de esta reacción se extrae del fondo del depósito y se bombea para su almacenamiento, donde el contenido de aceite deshidratado se puede separar para permitir su reutilización.

Beneficios ambientales obtenidos

Aumenta la eficacia de los tratamientos de rerrefinado del aceite usado. Relacionado con la técnica b del apartado Descripción, el uso de bombas de vacío en seco no genera agua contaminada.

Efectos cruzados

Aumenta el uso de energía u otros servicios. El uso de inyectoros de vapor como sistema de vacío genera agua contaminada.

Datos operativos

El funcionamiento de las bombas en seco puede verse afectado por las impurezas (sólidas).

Motivo principal para su aplicación

En la UE, ya existe un precepto legal que promueve el rerrefinado del aceite usado en aceite de base.

Instalaciones de ejemplo

Las emisiones al aire están parcialmente controladas en algunos centros y descontroladas en otros.

Bibliografía

[5, Concawe, 1996], [7, Monier y Labouze, 2001], [14, Ministry for the Environment, 2000], [36, Viscolube, 2002], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

4.4.1.2 Selección de aceites usados para rerrefinado

Descripción

Los aceites usados aptos para reciclaje son:

- aceites (negros) de motor, que tienen características homogéneas y son buscados por las instalaciones de rerrefinado,
- los aceites negros industriales son potencialmente aptos para regeneración, pero, debido al contenido de aditivos y otras sustancias, no suelen ser de preferencia en las instalaciones de rerrefinado,
- aceites industriales claros, que son relativamente limpios. Pueden rerrefinarse in situ o bien reutilizarse con otros fines. El mercado es muy específico e independiente de las rutas clásicas de suministro de reciclaje.

Beneficios ambientales obtenidos

Mejorar la calidad de la carga de alimentación puede mejorar el rendimiento ambiental de una instalación, así como la calidad del producto. Los lubricantes usados segregados pueden tener un valor de valorización mayor como combustibles o como materiales nuevos para rerrefinado. Si se evita que los compuestos clorados (por ejemplo disolventes o PCB) entren en el proceso de rerrefinado, pueden prevenirse problemas operativos y ambientales.

Aplicabilidad

Un informe afirma que el 60-65 % de los aceites usados son aptos para regeneración, aunque otros expertos sugieren una cifra de alrededor del 50 % de los aceites usados. Los aceites usados más adecuados para regeneración son aquéllos que no están demasiado contaminados y que tienen un elevado índice de viscosidad y no tienen ésteres ni biolubricantes. Los aceites (negros) de motor representan más del 70 % del flujo de aceites usados. Los aceites industriales negros representan aproximadamente el 5 % de los aceites usados, mientras que los aceites industriales claros representan el 25 %. Los expertos consideran que los siguientes aceites usados son reciclables:

- aceites de motor sin cloro (código LER: 130205),
- aceites hidráulicos sin cloro (código LER: 130110),
- aceites diatérmicos minerales no clorados (código LER: 130306),
- aceites de motor con cloro (código LER: 130204): aunque sólo bajo ciertas condiciones (por ejemplo limitación del contenido de cloro o PCB),
- aceites hidráulicos con PCB (código LER: 130101): aunque sólo bajo ciertas condiciones (por ejemplo limitación del contenido de cloro o PCB),
- aceites hidráulicos con cloro (código LER: 130109): aunque sólo bajo ciertas condiciones (por ejemplo limitación del contenido de cloro o PCB).

Motivo principal para su aplicación

Motivos económicos para producir un buen producto.

Bibliografía

[7, Monier y Labouze, 2001], [55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.4.1.3 Proceso de destilación con arcilla

Descripción

Véase el apartado 2.4.1.5.

Beneficios ambientales obtenidos

Potencialmente, este proceso tiene un elevado impacto ambiental adverso debido a la gran cantidad de arcilla grasa desechada. Las arcillas activadas a alta temperatura permiten una proporción arcilla/aceite menor, de modo que aumenta el rendimiento global y reduce la cantidad de arcilla grasa desechada. En comparación con el proceso ácido/arcilla, se desecha menos arcilla grasa.

Efectos cruzados

Baja calidad del producto y bajo rendimiento.

Datos operativos

El rendimiento del aceite lubricante esperado con este proceso ronda el 50 % sobre la sustancia seca.

Instalaciones de ejemplo

No se han identificado instalaciones.

Bibliografía

[56, Babbie Group Ltd, 2002]

4.4.1.4 Destilación y tratamiento químico o extracción con disolvente

Descripción

Consta de una serie de evaporadores ciclónicos de vacío seguidos de un tratamiento químico de las fracciones de aceite lubricante obtenidas.

Beneficios ambientales obtenidos

El rendimiento del aceite lubricante esperado con este proceso ronda el 65-70 % sobre la sustancia seca. La selección del proceso correcto puede eliminar prácticamente todos los HAP, por ejemplo utilizando extracción con disolvente. Algunos procesos de este tipo no generan residuos porque transforman los residuos en productos (por ejemplo, la producción de un fertilizante por reutilización de las aguas de reacción).

Aplicabilidad

Instalaciones de refinación de tamaño medio (~25 kt/a).

Aspectos económicos

Económicamente atractivo. El coste de inversión de una instalación de 108 kt/a es de 29 millones de dólares (1994). Supuestos: aplica destilación al vacío más tratamiento químico o con arcilla, almacenamiento: 15 días y capital de trabajo: 15 días.

Instalaciones de ejemplo

Hay una instalación diseñada que utiliza este proceso en España.

Bibliografía

[5, Concawe, 1996], [86, GTT, 2003]

4.4.1.5 Proceso de extracción con disolvente y destilación

Descripción

Véase el apartado 2.4.1.5. El proceso de extracción de propano Interline, mejorado por Sener, comprende tres etapas y no necesita acabado:

- a. pretratamiento químico con reactivos y catalizadores,
- b. extracción de propano líquido de las bases lubricantes separando agua y asfalto,
- c. destilación atmosférica y al vacío para separar las fracciones ligeras y los aceites base para lubricantes.

Beneficios ambientales obtenidos

El proceso no produce residuos sólidos. El tratamiento químico de la fracción de aceite resultante con una mezcla de sustancias químicas convierte el cloro combinado orgánicamente en NaCl. Tras una nueva destilación, todos los productos finales tienen un contenido reducido de cloro (menos de 10 ppm). El reactor químico elimina los contaminantes y prácticamente todo el cloro hasta menos de 5 ppm.

Datos operativos

El rendimiento del aceite lubricante declarado para este proceso es del 79 % sobre la sustancia seca. Otra fuente indica que los rendimientos previstos por los distribuidores de la tecnología son del 72-74 % de aceites base y del 21-22 % de asfaltos sobre la sustancia seca.

Aplicabilidad

Existe la posibilidad de rerrefinado en zonas con una baja producción de aceite usado, ya que la instalación está bien adaptada a capacidades relativamente pequeñas (25-30 kt/a).

Aspectos económicos

Capital y costes operativos reducidos. Los distribuidores de la tecnología afirman que esta técnica reduce los costes de inversión y operativos en comparación con otras tecnologías de rerrefinado. La economía del proceso está equilibrada para instalaciones de relativamente baja capacidad (25-30 kt/a).

Instalaciones de ejemplo

Una instalación en España que funciona desde 2000 muestra que las emisiones al aire se pueden reducir dirigiendo los flujos de ventilación y la fase gaseosa de las unidades de destilación a un oxidante térmico en el que los contaminantes se oxidan a 850 °C durante un tiempo de residencia de 2 segundos.

Bibliografía

[5, Concawe, 1996], [11, Jacobs y Dijkmans, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

4.4.1.6 Evaporación de películas finas y diferentes procesos de acabado

Descripción

La destilación al vacío (evaporador de películas finas, EPF) es un componente común de muchas instalaciones de rerrefinado. Una técnica que cabe considerar consiste en aplicar sellos mecánicos en los ejes giratorios de evaporadores de películas finas soldadas.

Beneficios ambientales obtenidos

Tecnología EPF junto con	Rendimiento (%) (en función de la entrada para cada actividad)
Tratamiento con arcilla	Rendimiento total: 54-73 %. Deshidratación: 88-92 %; destilación EPF: 80-81 %; Destilación al vacío: 76 %; tratamiento con arcilla: 95 %.
Hidrotratamiento	Alta calidad de producto El rendimiento del aceite lubricante declarado por las autoridades certificadoras se encuentra en torno al 72 % sobre la sustancia seca. Dos instalaciones existentes notificaron un rendimiento de hasta el 94-98 %. Otras fuentes ofrecen los siguientes rendimientos: 88 % deshidratación; 84 % destilación EPF; 86 % hidroacabado, con un rendimiento total del 64 %.
Extracción con disolvente	El rendimiento total oscila entre el 50-67 %. 88-92 % deshidratación; 80-91 % destilación al vacío; 83-91 % extracción de acabado.
Extracción con disolvente e hidroacabado	Rendimiento total: 91 % deshidratación; 81 % destilación al vacío; 97 % extracción de acabado.

Tabla 4.34: Beneficios ambientales obtenidos de la tecnología EPF
[13, Marshall, et al., 1999], [139, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

Efectos cruzados

Las instalaciones EPF sin otro tratamiento producen un aceite de coloración oscura que resulta apto para diluir el gasóleo, pero no como aceite base para mezclar con lubricantes. La experiencia hasta la fecha ha demostrado que puede ocasionar problemas de olor.

Aplicabilidad

El tamaño de estas instalaciones oscila entre 25-160 kt/a.

Aspectos económicos

La inversión necesaria para una destilación al vacío y para una instalación de hidrotratamiento de 108 kt/a de capacidad es de 43 millones de dólares (1994). Algunos datos más recientes indican que el coste de una instalación EPF con arcilla de 100 kt/a de capacidad es de 221 EUR/t de aceite; el coste de una hidroinstalación EPF de 50 kt/a de capacidad es de 333 EUR/t de aceite; y el coste de una instalación EPF con disolvente de 50 kt/a es de 308 EUR/t de aceite.

Instalaciones de ejemplo

Una instalación en Newcastle (Australia) y dos en Alemania (85 y 160 kt/a, respectivamente) emplean esta tecnología. Hay disponibles al menos seis procesos comerciales diferentes.

Bibliografía

[5, Concawe, 1996], [13, Marshall, et al., 1999], [150, GTT, 2004]

4.4.1.7 Proceso de desasfaltado térmico

Descripción

Para obtener más información sobre el desasfaltado térmico (DAT), véase el apartado 2.4.1.5.

Beneficios ambientales obtenidos

El rendimiento del aceite lubricante declarado por las autoridades certificadoras sobre la base del aceite usado deshidratado es del 74 % con acabado con arcilla (97 % deshidratación, 80 % desasfaltado, 95 % acabado) y del 77 % con hidrotratamiento (97 % deshidratación, 80 % desasfaltado, 96 % acabado) sobre la sustancia seca.

Aplicabilidad

Este proceso se aplica en instalaciones grandes de 100-180 kt/a y en instalaciones de 40-100 kt/a para el hidrot ratamiento.

Aspectos económicos

El coste de una instalación de DAT con arcilla de 100 kt/a de capacidad es de 280 EUR/t de aceite, y para una hidroy instalación es de 304 EUR/t de aceite.

Instalaciones de ejemplo

Una instalación en Italia y dos más fuera de la UE.

Bibliografía

[13, Marshall, et al., 1999], [36, Viscolube, 2002], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

4.4.1.8 Reciclaje en una refinería de aceite lubricante

Descripción

Véase el apartado 2.4.1.5.

Beneficios ambientales obtenidos

El rendimiento del aceite lubricante esperado con este proceso ronda el 65-70 % sobre la sustancia seca. Esta tecnología mejora la calidad del aceite rerrefinado en comparación con las instalaciones de rerrefinado existentes que utilizan predestilación, desasfaltado y acabado con arcilla. Además, la calidad del aceite parece ser incluso superior en algunos aspectos en comparación con el aceite mineral convencional del mismo ciclo de producción.

Aspectos económicos

Con respecto a la ubicación de la instalación, la preexistencia de cierta infraestructura y otros equipos naturalmente reducirá el coste de capital. Es difícil cuantificar cualquier tipo de ahorro debido a los costes de mantenimiento y actualización necesarios en cada caso.

Coste de capital (1995): 45 millones de dólares. Supuestos: tratamiento de 108 kt/a, almacenamiento de 15 días y capital de trabajo de 15 días.

Instalaciones de ejemplo

Esta ruta se ha comercializado recientemente en Alemania.

Bibliografía

[5, Concawe, 1996], [13, Marshall, et al., 1999]

4.4.1.9 Hidrot ratamiento

Descripción

Véase el apartado 2.4.1.4. Una técnica que cabe considerar consiste en depurar (véase el apartado 4.6.10) o incinerar (véase el apartado 4.6.14) los efluentes gaseosos ácidos de los hidrot ratamientos.

Beneficios ambientales obtenidos

El hidrot ratamiento es un proceso de acabado muy eficaz, ya que:

- reduce o elimina los metales y metaloides remanentes del aceite usado,
- reduce el carbono Conradson (medición de la tendencia de un hidrocarburo a formar coque),
- reduce los ácidos orgánicos y compuestos que contienen cloro, azufre y nitrógeno,
- restaura las propiedades de color, UV y térmicas,

- reduce los HAP cuando funciona a alta presión y a altas temperaturas,
- permite un índice de viscosidad igual o mayor que la entrada original.

Efectos cruzados

Es necesario generar o comprar hidrógeno. Parece que el hidrot ratamiento no altera el contenido de aceite sintético ya presente en el aceite residual.

Datos operativos

El hidrot ratamiento normalmente aumenta los riesgos de seguridad (debido a la necesidad de manipulación del hidrógeno a presión y a alta temperatura). Presión: 100 bar de presión parcial; temperatura: 340 °C; catalizador: NiMo.

Aspectos económicos

El coste de capital de la instalación de hidrot ratamiento es muy elevado. La tabla 4.35 ofrece algunos ejemplos:

Instalación	Coste
Re refinado moderno con hidrot ratamiento sin recogida	4-47 EUR/t ¹
Coste medio de la recogida en Europa	110 EUR/t
Re refinado moderno con hidrot ratamiento si el coste de la recogida no está incluido	De -106 a -63 EUR/t
Instalación independiente de hidroacabado severo	10 millones de euros
Instalación independiente de hidroacabado severo si también son necesarias unidad de Claus incorporada, producción de H ₂ , extracción de agua ácida y unidades de aminas	20 millones de euros
Hidrot ratamiento para una instalación de 108 kt/a	65 millones de dólares (1994) ²

¹ valor a la entrada en la instalación (1994) suponiendo una TIR del 15 % tras los impuestos y un capital de trabajo de 15 días. Un nuevo informe de Europia (2003) indica valores de 300-333 EUR/t.
² extracción con disolvente e hidrot ratamiento; almacenamiento: 15 días y capital de trabajo: 15 días.

Tabla 4.35: Aspectos económicos de las instalaciones de hidrot ratamiento
 [5, Concawe, 1996], [36, Viscolube, 2002], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

Motivo principal para su aplicación

Aumentar la calidad de los productos.

Instalaciones de ejemplo

El hidrot ratamiento es el único proceso de re refinado aprobado por el Instituto Americano del Petróleo (API). Existen dos instalaciones de hidroacabado en Italia (una de hidroacabado severo y otra de hidroacabado leve).

Bibliografía

[5, Concawe, 1996], [7, Monier y Labouze, 2001], [13, Marshall, et al., 1999], [36, Viscolube, 2002], [66, GTT, 2003], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

4.4.1.10 Proceso de hidrogenación por contacto directo

Descripción

Véase la descripción de hidrogenación por contacto directo (DCH) en el apartado 2.4.1.5.

Beneficios ambientales obtenidos

Entre los beneficios de esta técnica se incluyen:

- el proceso es muy eficiente para separar contaminantes del aceite usado,
- se destruyen los compuestos halogenados y oxigenados,
- se generan productos más limpios (por ejemplo combustibles con menos azufre (<0,03 peso-%),

- todo el aceite usado se trata en un entorno reductor que exhibe la formación de subproductos poliméricos y carbonáceos,
- el tratamiento se trata catalíticamente a continuación para convertir los compuestos tóxicos de sulfuro presentes en sulfatos no tóxicos,
- el gas rico en hidrógeno se recicla,
- los gases ácidos generados en el reactor de conversión se neutralizan con una solución cáustica.

Efectos cruzados

Es necesario generar o comprar hidrógeno. Los materiales sólidos que deben eliminarse incluyen el catalizador gastado, cloruro de sodio y sulfato de sodio. Produce una baja DQO, un efluente acuoso libre de sulfuro y de cloruro orgánico y un residuo pesado estable apto para mezcla con asfalto.

Aspectos económicos

Productos de calidad económicamente atractivos y un mayor rendimiento por tonelada de entrada.

Motivo principal para su aplicación

Aumenta la calidad del aceite base producido por:

- mejor calidad y mejores características que los aceites vírgenes,
- aceite base del grupo II con bajo contenido de azufre y fósforo y poco aroma,
- aumenta el índice de viscosidad y la estabilidad frente a la oxidación.

Instalaciones de ejemplo

El proceso de hidrogenación por contacto directo se ha utilizado industrialmente desde que se completó la primera instalación en Alemania en noviembre de 2003.

Bibliografía

[5, Concawe, 1996], [139, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.4.1.11 Extracción con disolvente

Descripción

Véase el apartado 2.4.1.4.

Beneficios ambientales obtenidos

No produce arcilla contaminada como producto residual.

Efectos cruzados

Sólo el 98 % del disolvente se regenera tras la extracción del aceite base.

Aplicabilidad

Totalmente aplicable en el sector.

Aspectos económicos

Más económico que la opción del hidroacabado.

Instalaciones de ejemplo

Hay al menos una instalación operativa en Alemania.

Bibliografía

[86, GTT, 2003]

4.4.1.12 Tratamiento con sosa cáustica y tierra de blanqueo

Descripción

Véase el apartado 2.4.1.5.

Beneficios ambientales obtenidos

Como resultado, se obtiene un rendimiento elevado del aceite lubricante. El aceite base producido es de alta calidad (grupo II) con rendimientos de los aceites base superiores a los de otras tecnologías. La neutralización se lleva a cabo con un tratamiento con ácido y arcilla. Sólo se usa el 25 % de arcilla y ácido en comparación con la cantidad habitual.

Datos operativos

Uso de sosa cáustica.

Aplicabilidad

Aplicado a los aceites usados.

Aspectos económicos

Se ha notificado que resulta económicamente atractivo gracias a que hay productos de alta calidad y un rendimiento mayor por tonelada de entrada.

Motivo principal para su aplicación

Esta técnica mejora la calidad del aceite base:

- igual calidad y características que los aceites vírgenes,
- aceite base del grupo I con bajo contenido de azufre y fósforo y poco aroma,
- alto índice de viscosidad y alta estabilidad frente a la oxidación.

Instalaciones de ejemplo

Hay una instalación operativa en Alemania desde 2000.

Bibliografía

[5, Concawe, 1996], [150, GTT, 2004]

4.4.1.13 Tratamiento en una refinería

Descripción

Existen dos opciones posibles de mezcla en una refinería:

Mezcla con la carga de alimentación (normalmente aceite crudo)

El aceite pretratado se mezcla con el aceite crudo y la mezcla pasa por la desaladora antes de entrar en la unidad de destilación de aceite crudo de una refinería existente. En esta opción, el aceite usado atraviesa todos los procesos de la refinería y la mayor parte del aceite usado acaba en el producto de fondo de la columna de vacío. Este residuo al vacío contiene la mayoría de los metales y componentes de azufre del aceite usado. Su uso final depende de la refinería.

Mezcla con el residuo al vacío

El aceite usado se utiliza como componente complementario para mezclar con el producto de fondo de la columna de vacío. En esta opción, el aceite usado apenas entra en algunas unidades de refinería de la instalación. La mezcla contiene todos los metales, cloruros y componentes de azufre que se originan en el aceite usado.

Diversas pruebas han demostrado que la mayoría de los metales del aceite usado de lubricante acaban en los residuos de destilación (fondos) del asfalto. La calidad del gasóleo al vacío no se altera aparte de los contenidos ligeramente elevados de cloro y podría considerarse apta para el uso en la operación de craqueo catalítico. No obstante, las pruebas también han indicado que será

necesario un pretratamiento adicional del aceite usado de lubricante sometido a predestilación para reducir los cloruros poliorgánicos que no se eliminan con una operación de predestilación. De lo contrario, estos cloruros se destilarían con los extremos claros de la columna de vacío y causarían la corrosión de la parte posterior de dicha columna en cualquier hidrotatamiento posterior.

Beneficios ambientales obtenidos

Además de su uso como carga de alimentación secundaria para la unidad de combustible, reduce los requisitos del aceite crudo en el complejo. En concreto, reduce el consumo de servicios de la instalación de lubricantes, puesto que la regeneración de los aceites usados requiere menos servicios que la producción de aceite base virgen, principalmente debido al menor contenido de cera (por tanto, requiere un menor descerado). La reducción de las emisiones de óxidos de azufre es menor.

Efectos cruzados

La presencia (potencial) de cloruros orgánicos puede producir un ácido débil durante el hidrotatamiento y provocar problemas de corrosión e incidentes potenciales graves. La secuencia normal del proceso de refinado no elimina todos los metales del aceite usado, por lo que los metales que quedan pueden contaminar el catalizador del craqueo catalítico.

Además, las refinerías pueden mezclar el aceite usado, sin procesamiento posterior, con aceite pesado y usarlo como carga de alimentación secundaria para la unidad de combustible. Quemar este combustible puede generar emisiones mayores de SO_x y metales. En algunos países, estos quemadores de combustible pesado no están equipados con un sistema de tratamiento de efluentes gaseosos, ya que los permisos de estos sectores adoptan un principio de burbujeo (véase el BREF sobre refinerías).

Datos operativos

Esta técnica puede integrarse en los trabajos de refinería. La alternativa de mezclar aceite usado con aceite crudo no se aplica debido a los graves problemas técnicos que puede causar el aceite usado en la instalación, por ejemplo, ensuciamiento del catalizador o corrosión grave.

El reciclaje del aceite usado en una refinería de aceite mineral no se suele aplicar debido a los serios problemas técnicos que el aceite usado puede causar en la instalación. Algunos ejemplos son la presencia de metales en el aceite usado, que puede contaminar el lecho del catalizador del craqueo catalítico, y la presencia de cloruros orgánicos en el aceite usado, que puede comportar problemas de corrosión ya que se convierten en ácido clorhídrico débil en las etapas del hidrotatamiento.

Aplicabilidad

Esta técnica crea una deformación de la pizarra de productos de la refinería de aceite mineral. Por ejemplo, para cumplir las necesidades de sus clientes de lubricantes pesados, la refinería de aceite mineral tendrá que producir la fracción requerida (aumentando el consumo de crudo en la unidad de combustible).

La viabilidad técnica de la técnica no está garantizada puesto que puede provocar graves problemas técnicos y operativos.

Aspectos económicos

El valor aproximado del aceite usado de lubricante sin recogida es de 27 EUR/t (valor a la entrada en la instalación [1994] suponiendo una TIR del 15 % tras los impuestos y un capital de trabajo de 15 días) y de -83 incluyendo el coste de la recogida (coste medio de la recogida: 110 EUR/t dentro de Europa). Respecto a la ubicación de la instalación, la preexistencia de ciertas infraestructuras y otros equipos pueden reducir el coste de capital. Es difícil cuantificar el ahorro debido a los costes de mantenimiento y actualización necesarios para utilizar este recurso.

El coste de inversión es de 11 millones de dólares (1994) con los siguientes supuestos: 120 kt/a, almacenamiento: 15 días y capital de trabajo: 15 días.

Hay ciertas ventajas vinculadas a las sinergias del proceso, así como a la reducción del consumo de energía y de aceite crudo. Según [7, Monier y Labouze, 2001], la integración de una unidad de craqueo térmico sería económicamente preferible a la integración de una unidad de rerrefinado.

Motivo principal para su aplicación

Varios problemas operativos potencialmente graves hacen que este método de tratamiento resulte poco atractivo para los operadores de refinerías.

Instalaciones de ejemplo

El proceso todavía no tiene aplicación industrial. El método ha sido objeto de un estudio piloto en Francia y de un estudio en Canadá.

Bibliografía

[5, Concawe, 1996], [6, Silver Springs Oil Recovery Inc., 2000], [7, Monier y Labouze, 2001], [11, Jacobs y Dijkmans, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

4.4.1.14 Gestión del agua en instalaciones de rerrefinado de aceites usados

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- a. garantizar que cualquier efluente acuoso (por ejemplo agua destilada del aceite usado de lubricante, agua procesada incluida la depuración cáustica) sea tratado antes de la descarga,
- b. utilizar una unidad de tratamiento de aguas residuales (por ejemplo, desemulsionante y floculante, floculación y tratamiento biológico, ultrafiltración y microfiltración). Puede encontrar más información en el apartado 4.7,
- c. reutilizar el agua residual limpia como agua de limpieza aplicando una PTAR y generando productos acuosos que puedan reutilizarse fuera de la instalación,
- d. introducir los efluentes acuosos en el calentador junto con los aceites para incinerar sus constituyentes nocivos.

Beneficios ambientales obtenidos

La figura 4.6, figura 4.7, figura 4.8 y la tabla 4.36 y 4.37 ilustran tres ejemplos sobre los valores obtenidos en los tratamientos.



Figura 4.6: Niveles alcanzables en un tratamiento de aguas residuales usado en el proceso de rerrefinado.

[36, Viscolube, 2002]

Nota: Las cifras de los cuadros están en ppm. Las cifras superiores corresponden a la DQO y las cifras inferiores, al contenido de fenol.

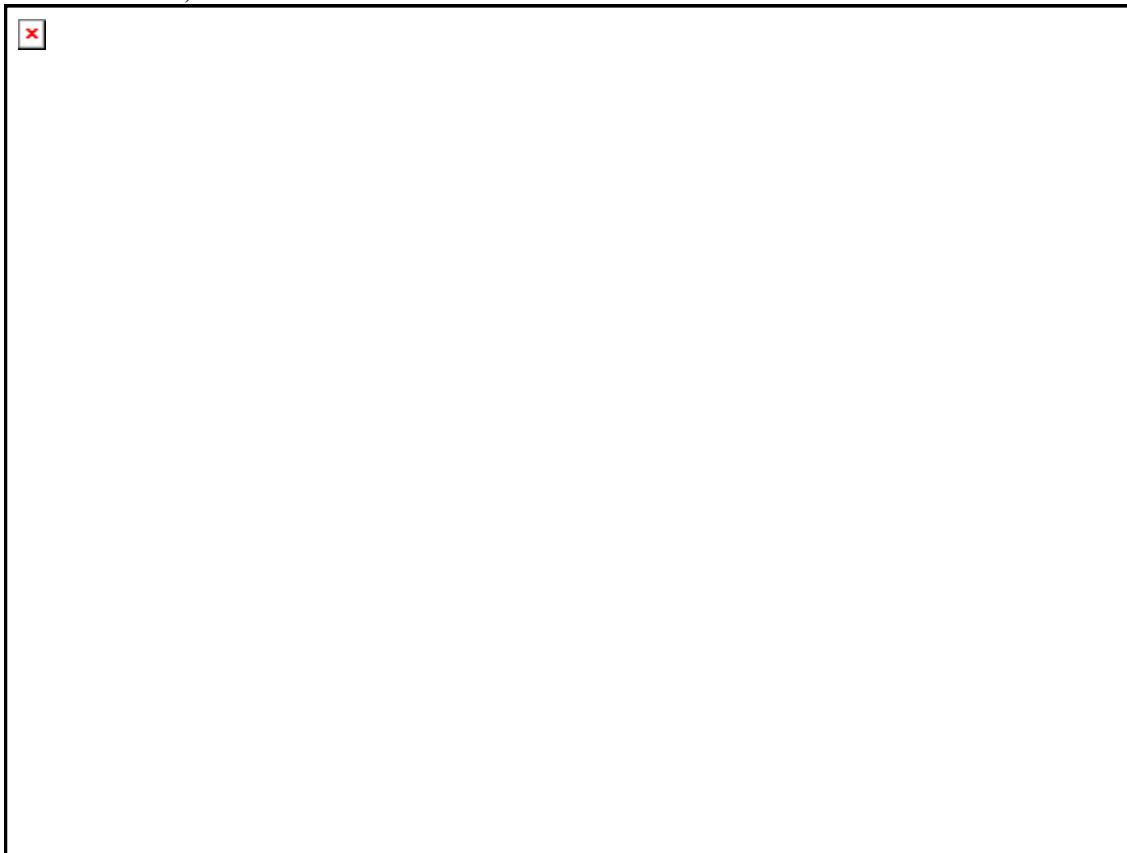


Figura 4.7: Tratamiento de aguas residuales usado en el proceso de rerrefinado (tratamiento EPF con arcilla).

[139, UBA, 2003]

Nota: los valores de la figura corresponden a los contenidos de COT en ppm.

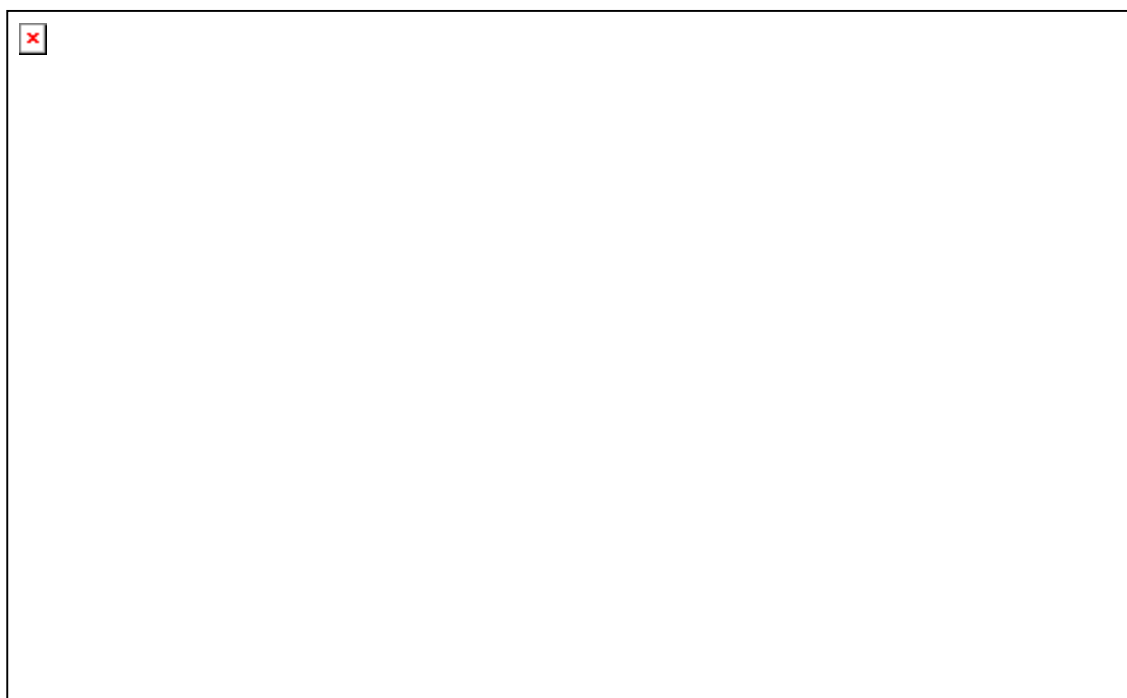


Figura 4.8: Tratamiento de aguas residuales usado en una instalación de tratamiento de aceites usados.

[150, GTT, 2004]

Los parámetros de la tabla 4.35 pueden obtenerse con una instalación de tratamiento de aguas residuales igual a la anterior.

Parámetro	Precipitación/floculación en rama (mg/l)	Biología en rama (mg/l)	Biología in situ en tubo descendente (mg/l)
DQO			200 – 500
COT	1800 – 3500	1300 – 2200	60 – 150
Nitrito- N		1 – 20	<0,1 – 1,0
Nitrógeno total		80 – 280	10 – 60
Fósforo total		1 – 15	2,0 – 5,0
AOX		0,1 – 0,4	<0,10 – 0,25
Hidrocarburos	50 – 300	<1,0 – 10	<0,1 – 2,0
Benceno y derivados		0,01 - 0,03	<0,01
Índice de fenol		1 – 50	<0,2
Pb	<0,05 – 0,06	<0,05	<0,05
Cd	<0,02	<0,02	<0,02
Cr	<0,02 – 1,0	<0,02	<0,02
Fe	1 – 10	1 – 20	1 – 10
Cu	<0,02 – 0,2	<0,02 – 0,1	<0,02 – 0,1
Ni	<0,02 – 0,5	<0,02 – 0,3	<0,02 – 0,1
Zn	<0,1 – 1,0	<0,1 – 0,1	<0,1

Tabla 4.36: Composición de diferentes entradas y salidas de distintos flujos de la PTAR en una refinería de aceites usados.

[150, GTT, 2004]

Parámetro de agua residual	Valor (ppm)
Hidrocarburos	<0,01 – 5
DQO	20 – 400*
Fenoles	0,15 – 0,45
*Pueden alcanzarse valores de 400 sin dilución del agua residual tratada con otros flujos de agua.	

Tabla 4.37: Niveles alcanzables en el efluente tras una PTAR biológica en unidades de tratamiento de aceites usados.

[42, R.U., 1995], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

Efectos cruzados

Las PTAR normalmente generan amoníaco y emisiones de COV al aire.

Datos operativos

El tratamiento biológico es una opción que cabe considerar, si bien no se ha probado que sea fiable. El control diario de la descarga de alcantarillas incluye el control de los niveles de amoníaco, pero no el nitrógeno total. Tampoco se controlan las concentraciones de fósforo.

Instalaciones de ejemplo

La sección biológica de una instalación de valorización de aceite del Reino Unido comprendía cuatro unidades de aireación, que eran depósitos usados para tratar la capa acuosa del aceite, así como lixiviados de vertidos. Hay procesos de rerrefinado que no generan agua residual para el tratamiento externo. Estos sistemas implican la utilización total del agua contenida en el aceite usado de lubricante (por ejemplo la utilización del agua tratada como refrigerante o en la producción de un compuesto fertilizante).

Bibliografía

[36, Viscolube, 2002], [42, R.U., 1995], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [139, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.4.1.15 Gestión de residuos en instalaciones de tratamiento de aceites usados

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- quemar aceites valorizados no lubricantes en un calentador equipado con un reactor de gas para aumentar la energía de la instalación,
- tratar y desechar todos los filtros usados,
- aplicar un tratamiento térmico para todos los residuos,
- usar los residuos de destilaciones al vacío y de evaporadores como productos asfálticos.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce la cantidad de residuos generados por el tratamiento.

Motivo principal para su aplicación

Reducir la generación de residuos.

Instalaciones de ejemplo

Normalmente utilizado en instalaciones de regeneración de aceites usados.

Bibliografía

[56, Babbie Group Ltd, 2002], [150, GTT, 2004]

4.4.2 Disolventes residuales

4.4.2.1 Selección de disolventes residuales para reciclaje

Descripción

Los disolventes residuales compuestos de monoflujos se suelen regenerar. Un disolvente residual puede considerarse regenerativo si, por ejemplo:

- es monoflujo (un lote de un generador de residuos),
- produce un destilado mínimo del 60 %,
- tiene una cantidad mínima por carga,
- los costes de destilación son los mismos o menores que para la incineración.

Beneficios ambientales obtenidos

Evitar problemas ambientales en la instalación. Mediante la destilación, los disolventes residuales se separan en un disolvente reutilizable y un fondo de destilación no reutilizable.

Aplicabilidad

Disolventes no clorados, CFC y halones.

Bibliografía

[150, GTT, 2004], [156, VROM, 2004], [157, UBA, 2004]

4.4.2.2 Mejora del tratamiento de regeneración de disolventes residuales

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- a. aplicar destilación azeotrópica,
- b. aplicar destilación al vacío,
- c. usar evaporadores de películas finas,
- d. calentar el flujo de alimentación con el destilado mediante un intercambiador de calor y medidas de aislamiento,
- e. aplicar una reutilización en cascada del disolvente (es decir, cuando el disolvente se usa una vez para limpieza de alta calidad y luego se vuelve a usar para otra limpieza o para operaciones que no requieren un disolvente puro),
- f. usar sistemas de compensación de vapor y dirigir el gas residual a técnicas de reducción (por ejemplo filtración de carbón activo, sistemas cerrados y uso de líneas de compensación de vapor durante la carga). La eficacia de eliminación de un filtro de carbón activo es de al menos el 90 %,
- g. usar destilación para la separación de disolventes orgánicos de sólidos,
- h. usar rectificación para eliminar sustancias contaminantes y conseguir cierta calidad de los residuos,
- i. deshidratar mediante un decantador si los disolventes contienen agua.

Beneficios ambientales obtenidos

Mejora la separación de disolventes residuales y el uso eficiente de los disolventes. El consumo de energía de destilación puede reducirse (por ejemplo con las técnicas b-d del apartado Descripción).

Se pueden conseguir valores de emisión de 50 mg C/Nm³ en el gas residual tras el tratamiento mencionado en la técnica f del apartado Descripción.

Efectos cruzados

La aplicación de la reutilización en cascada de disolventes podría desarrollar el uso de disolventes en dispositivos abiertos y, por ejemplo, para limpiar máquinas o dispositivos de recubrimiento. En estos casos, debe conocerse una composición definida de la mezcla de disolventes y los disolventes no deberían contener compuestos orgánicos volátiles considerados como materiales de riesgo para la salud humana.

La destilación de disolventes residuales produce emisiones de hidrocarburos al aire y de agua residual que precisa ser tratada.

Datos operativos

El uso de sistemas de compensación de vapor durante la carga del disolvente es habitual para reducir las emisiones fugitivas de COV (por ejemplo Alemania). El gas residual se suele tratar con adsorción en carbón activo.

Aplicabilidad

La técnica de la destilación es aplicable a todos los disolventes y refrigerantes regenerativos. Las capacidades de las instalaciones de ejemplo oscilan aproximadamente entre 2 y 60 kt/a.

La destilación azeotrópica se suele emplear para mejorar la valorización de disolvente. Un azeótropo o mezcla azeotrópica es una mezcla de líquidos que se comporta como una sustancia simple en ebullición (es decir, tanto el vapor como el líquido tienen la misma composición). La destilación azeotrópica consiste en añadir una sustancia (normalmente vapor de agua) para formar una mezcla azeotrópica con el disolvente que se va a reciclar. La mezcla azeotrópica tendrá un punto de ebullición más bajo que la mezcla original y así la recuperación del disolvente será más fácil.

La destilación al vacío está diseñada para tratar disolventes con puntos de ebullición más elevados (por encima de los 200 °C).

Motivo principal para su aplicación

Algunos disolventes orgánicos son especialmente peligrosos para la salud humana. Algunas restricciones (por ejemplo sobre instalaciones cerradas) se mencionan en la Directiva 1999/13/CE.

El orden de preferencia para la gestión de residuos de acuerdo con la Directiva Marco sobre Residuos y el VI Programa de Acción Ambiental de la Unión Europea.

Instalaciones de ejemplo

Rerrefinado de N-metil-2-pirrolidona (NMP) utilizado en la fabricación electrónica.

Bibliografía

[53, LaGrega, et al., 1994], [130, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.4.2.3 Tratamiento de aguas residuales en una instalación para disolventes residuales**Descripción**

Véase el apartado 4.7. Algunas técnicas usadas en instalaciones para disolventes residuales incluyen instalaciones de extracción de aguas residuales, biorreactores, depósitos de primera necesidad para aguas residuales, depósitos de almacenamiento intermedio para aguas residuales e instalaciones de ultrafiltración.

Beneficios ambientales obtenidos

Las características del efluente tras el tratamiento se ilustran en la tabla 4.38:

Compuestos	Valor medio	Unidad
Color	-	
Olor	-	
pH	8,7	
Conductividad eléctrica	989	µS/cm
P total	0,46	mg/l
N total	32,9	mg/l
DQO	18	mg/l
DBO ₇	<3	mg/l
Sb	<0,01	mg/l
Pb	<0,010	mg/l
Cd	<0,002	mg/l
Cr total	<0,002	mg/l
Co	0,006	mg/l
Ni	<0,002	mg/l
Zn	0,02	mg/l
Hidrocarburos halogenados ligeramente volátiles	4	µg/l
AOX	320	µg/l
Nota: datos desde 2002		

Tabla 4.38: Características del efluente de una PTAR en una instalación de regeneración de disolventes residuales.

[130, UBA, 2003]

Efectos cruzados

Véase el apartado 4.7.

Datos operativos

Véase el apartado 4.7.

Aplicabilidad

Véase el apartado 4.7.

Aspectos económicos

Véase el apartado 4.7.

Motivo principal para su aplicación

Véase el apartado 4.7.

Instalaciones de ejemplo

Las instalaciones de tratamiento de disolventes residuales suelen contar con instalaciones para el tratamiento de aguas residuales.

Bibliografía

[130, UBA, 2003]

4.4.2.4 Evaporación de los residuos de destilación**Descripción**

Para los fondos de destilación se emplean secadores de vacío y otras técnicas de secado.

Beneficios ambientales obtenidos

Aumenta el porcentaje de disolvente valorizado. Valorización del 99 % de los disolventes de los contenedores. Esto puede reducir la concentración total de disolvente aproximadamente en un factor de diez. Así mismo, las resinas y pigmentos también pueden valorizarse. Al mismo tiempo, pueden reducir el olor y las emisiones de COV que pueden generar los fondos.

Efectos cruzados

El residuo sólido generado debería tratarse. Los COV se emiten al aire y se tratan antes de su emisión.

Datos operativos

Es necesaria energía (calor y energía) para poner en marcha estos sistemas. Hay sistemas para el tratamiento de hasta 4000 toneladas de residuos de destilación anuales. De ahí, es posible obtener entre 1500 y 2000 toneladas de disolventes al año. La energía de amasado específica es de hasta 0,1 kWh/kg. La separación de las zonas de calentamiento y de enfriamiento facilita el control eficiente de la temperatura de los productos.

Aplicabilidad

No necesita tanta superficie y es fácilmente aplicable a instalaciones existentes. Es aplicable a los residuos de destilación de disolventes para pinturas, polímeros, elastómeros, productos farmacéuticos y productos alimenticios. Los COV se originan en una amplia serie de tipos de residuos. Los aceites y disolventes residuales son ejemplos evidentes. Por ejemplo, un lodo de fondo de destilación puede tener una concentración considerable de disolvente que, si el material estuviera en forma líquida, podría ser apto para valorización.

Aspectos económicos

Coste de inversión de 1,2 millones de euros. Los costes operativos varían entre 100 y 150 EUR por tonelada de residuo tratado.

Motivo principal para su aplicación

Mejorar la valorización de disolventes y la minimización de residuos.

Instalaciones de ejemplo

Al menos seis instalaciones emplean este sistema en todo el mundo. Al menos cuatro están en la UE. En el Reino Unido se utilizan técnicas de secado para la destilación de lodos de fondo.

Bibliografía

[50, Scori, 2002], [55, UK EA, 2001], [66, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

4.4.2.5 Automatización total de la incineración de residuos

Descripción

En una instalación de destilación de disolventes se optimiza la descarga del lodo de destilación. Por razones de protección laboral y ambiental, el proceso de descarga se automatiza por completo. Debido al elevado poder calorífico se automatiza completamente la transferencia del lodo a la instalación de incineración in situ.

Beneficios ambientales obtenidos

Tratamiento de residuos a partir del tratamiento de disolventes residuales.

Aplicabilidad

Esta técnica de descarga casi en seco no tiene por qué ser la solución adecuada cuando el proceso se optimiza en general.

Instalaciones de ejemplo

Una instalación de destilación de disolventes en Münster (Alemania).

Bibliografía

[150, GTT, 2004]

4.4.3 Catalizadores residuales

4.4.3.1 Técnicas genéricas utilizadas en el tratamiento de catalizadores residuales

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- a. aplicar recuperación de calor en forma de producción o recuperación de energía. Para este fin, puede recurrirse a quemadores de recuperación, intercambiadores de calor y calderas para recuperar el calor. Pueden generarse vapor o electricidad para usarlos en el emplazamiento o fuera, por ejemplo un proceso de precalentamiento o gases de combustible;
- b. usar oxígeno o aire enriquecido con oxígeno u oxígeno en los quemadores;
- c. precalentar el aire de combustión usado en los quemadores;
- d. precalentar el material cargado en el horno;
- e. controlar automáticamente el punto de extracción usando amortiguadores y controles de los ventiladores para que los sistemas se desplieguen cuando y donde sean necesarios, por ejemplo, durante la carga o durante el despliegue de un convertidor.

Beneficios ambientales obtenidos

Recuperación de calor y de energía, que es un factor importante en este sector debido a la elevada proporción de costes que representa la energía.

El uso de aire enriquecido con oxígeno o de oxígeno en los quemadores reduce el consumo global de energía y permite la combustión completa del material carbonáceo. Al mismo tiempo, los volúmenes de gas residual se ven significativamente reducidos, de modo que pueden emplearse ventiladores más pequeños, etc.

Las ventajas de precalentar el aire de combustión usado en los quemadores están bien documentadas. Si se usa un precalentamiento del aire de 400 °C, la temperatura de la llama experimenta un aumento de 200 °C, mientras que si el precalentamiento es de 500 °C, la temperatura de la llama aumenta en 300 °C. Este aumento de la temperatura de la llama tiene como resultado una eficacia mayor y una reducción del consumo global de energía. La alternativa al precalentamiento del aire de combustión consiste en precalentar el material cargado en el horno. La teoría muestra que se pueden obtener ahorros de energía del 8 % por cada 100 °C de precalentamiento y, en la práctica, se afirma que el precalentamiento hasta los 400 °C genera un ahorro energético del 25 %, mientras que un precalentamiento de 500 °C genera un ahorro energético del 30 %.

Aplicabilidad

La técnica usada para recuperar el calor varía en cada emplazamiento en función de diversos factores como los usos potenciales del calor y la energía en o cerca del emplazamiento, la escala de operación y el potencial de los gases o sus constituyentes para ensuciar o recubrir los intercambiadores de calor.

Muchas técnicas destinadas a la recuperación de energía son relativamente sencillas de instalar, pero en ocasiones pueden surgir problemas con la eliminación de los compuestos metálicos en los intercambiadores de calor. Un buen diseño se basa en un sólido conocimiento de los compuestos liberados y de su comportamiento a diferentes temperaturas. Los mecanismos de limpieza de los intercambiadores de calor también se utilizan para mantener su eficacia térmica.

Bibliografía

[125, Ruiz, 2002]

4.4.3.2 Mejorar el control del proceso

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- a. ajustar los niveles de temperatura y el tiempo de residencia del catalizador en la unidad para conseguir los niveles deseados de carbono y azufre,
- b. aplicar refrigeración antes de la instalación de un filtro de mangas,
- c. usar hornos herméticos, que permiten una eficacia muy elevada en la captura de los humos,
- d. usar conductos y ventiladores para transportar los gases recogidos a procesos de reducción o tratamiento. Se utilizan ventiladores de velocidad variable para conseguir tasas de extracción aptas para condiciones cambiantes como el volumen del gas, con un consumo mínimo de energía.
- e. tener un buen control de la temperatura durante el proceso de regeneración,
- f. diseñar el tiempo de residencia en pretratamiento para que sea breve (del orden de unos minutos) para minimizar el desgaste normalmente vinculado a los procesos de lecho fluidizado,
- g. aplicar una tecnología de dimensionamiento (es decir, graduación de la longitud) tras la regeneración. La tecnología de graduación de la longitud elimina las partículas catalizadoras cortas (normalmente con longitudes de 1-2 veces el diámetro) que no pueden eliminarse con el tamizado convencional. En un ejemplo, la graduación de la longitud se configuró para aceptar sólo un corte relativamente pequeño con el fin de aumentar la longitud media en 0,1-0,2 mm sin desechar demasiado material.

Beneficios ambientales obtenidos

Mejora el control del proceso y las eficacias de las técnicas de reducción. La eficacia de la recogida depende de la eficacia de las cubiertas, de la integridad de los conductos y del uso de un buen sistema de control de presión/flujo.

Datos operativos

Aplicar refrigeración antes de la instalación de un filtro de mangas es una técnica importante, ya que proporciona una protección de la temperatura para el filtro y permite una mayor selección de telas. A veces es posible recuperar el calor en esta etapa. La temperatura de los gases tras este intercambiador de calor puede oscilar entre 200 y 450 °C. El segundo intercambiador de calor reduce la temperatura del gas a 130 °C antes del filtro de mangas. Los intercambiadores de calor normalmente van seguidos de un ciclón que elimina las partículas más grandes y actúa como amortiguador de chispas.

Motivo principal para su aplicación

Requisitos del producto.

Bibliografía

[125, Ruiz, 2002]

4.4.3.3 Técnicas de reducción empleadas en el sector de la regeneración de catalizadores residuales

Técnica de reducción	Lugar de aplicación	Apartado de este documento donde se analiza la técnica de reducción
Filtro de tela	Salida de los hornos	4.6.5
Reactores húmedos	Salida de los hornos	4.6.11

Tabla 4.39: Técnicas de reducción aplicadas en instalaciones de regeneración de catalizadores residuales.

[125, Ruiz, 2002]

4.4.4 Carbón activo

4.4.4.1 Elección del horno utilizado para regenerar el carbón activo residual

Descripción

Las opciones son «hornos de solera múltiple», «hornos giratorios de combustión directa» y «hornos de calentamiento indirecto» (en los que no hay contacto entre el contenido del horno y los gases de combustión generados por el quemador).

Beneficios ambientales obtenidos

El horno de solera múltiple tiene ventajas destacadas sobre los otros tipos de horno desde el punto de vista de la eficacia de la regeneración, ya que la temperatura de cada crisol puede controlarse independientemente. La dirección de los gases de salida puede ser equicorriente o contracorriente al flujo del carbón. En algunos diseños, el posquemador puede incorporarse en el horno en el nivel «cero» del crisol. El horno de solera múltiple presenta una mejor transferencia de masa y mejores características de control de temperatura que el horno giratorio y suele tener un tiempo de residencia del carbón de una o dos horas. Las pérdidas de carbón pueden ascender al 10 % en peso.

Los hornos giratorios de combustión directa pueden funcionar con flujo de carbón equicorriente o contracorriente al flujo del aire de combustión. En el modo contracorriente, los gases de salida que abandonan el horno se encuentran a una temperatura superior al modo equicorriente, lo que permite el potencial de diseñar el posquemador según criterios menos estrictos mientras sigue destruyendo los contaminantes gaseosos.

Los hornos calentados indirectamente ofrecen la ventaja de eliminar la necesidad de mezclar los gases de combustión del quemador con los gases del proceso. El volumen menor de gas que requiere calentamiento ahorra energía y conserva el tamaño del equipo de reducción. Los gases

de combustión del quemador, que han calentado indirectamente el horno, se dirigen posteriormente a la base de la chimenea, donde pueden combinarse con los efluentes gaseosos del horno para reducir la visibilidad de la columna de humo emitida. Este método tiene como ventaja que puede permitirse presiones parciales mayores del vapor en el horno, lo cual es probable que reduzca la formación de óxidos de nitrógeno. Así mismo, es probable que se fomente la formación de haluros en lugar de halógenos elementales; los haluros se eliminan con mayor facilidad en sistemas de depuración posteriores.

Datos operativos

Debido a la ausencia de superficies metálicas expuestas, los hornos giratorios suelen poder funcionar a temperaturas más elevadas que los hornos de solera múltiples. Las pérdidas de carbón en los hornos giratorios puede estar entre el 5-15 % en peso. Es necesario prestar mucha atención a las juntas entre el horno giratorio y las placas de los extremos para evitar cualquier fuga de gases y de partículas. Las emisiones fugitivas de esta área se suelen controlar operando el horno a una presión ligeramente negativa.

Los hornos indirectos se construyen normalmente con un tubo metálico y es poco probable que sean aptos para aplicaciones industriales debido a la posible aparición de problemas de corrosión durante el tratamiento de algunos carbonos industriales.

Aplicabilidad

Las aplicaciones del horno de combustión indirecta son generalmente para el tratamiento de carbonos industriales, donde se aplican criterios de temperatura más onerosos al posquemador.

Instalaciones de ejemplo

El concepto de horno de combustión indirecta está cada vez más extendido. Los hornos de infrarrojos son relativamente novedosos en su aplicación y se encuentran fundamentalmente en EE. UU. Su modo de encendido es a través de elementos infrarrojos y del calentamiento indirecto del carbón. En consecuencia, evitan la producción de gas combustible, que puede resultar en volúmenes menores de aire que requieran tratamiento en la cadena de reducción. No obstante, se limitan a capacidades máximas de alrededor de 1000 t/a.

El único ejemplo de horno de combustión indirecta conocido en Europa estaba en el Reino Unido y se cree que ya no es funcional.

Una instalación de regeneración de carbón activo ubicada en una fuente de agua potable que utiliza un horno de solera múltiple; la instalación consta de silos que contienen el carbón gastado y reactivado, sistemas separados de transferencia del carbón gastado y reactivado para transportar el carbón de los silos al horno y desde los hornos. La unidad también cuenta con un sistema de transferencia directa a las instalaciones de abastecimiento de agua para tratar el carbón de ese emplazamiento en concreto. El carbón gastado y reactivado se transporta desde otros lugares mediante camiones cisterna.

Bibliografía

[29, UK Environment Agency, 1996], [41, R.U., 1991], [42, R.U., 1995], [150, GTT, 2004]

4.4.4.2 Tratamiento de los gases de combustión

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- a. utilizar un posquemador para los gases que salen del horno. El posquemador debe estar operativo en todo momento cuando el carbón está presente en el horno;
- b. diseñar el regenerador, los conductos asociados y el equipo para operar bajo una presión reducida con el fin de evitar el escape de gases del regenerador al aire;

- c. aplicar recuperación de calor. Normalmente esto implica que los intercambiadores de calor gas/gas permiten el precalentamiento del aire de combustión y el recalentamiento del gas de combustión. También puede haber una caldera de calor residual para la generación de vapor, que se usa en la reactivación del carbón;
- d. refrigerar los gases de combustión con una sección de temple o un reactor Venturi,
- e. usar un reactor cáustico o acuoso. También pueden emplearse técnicas de absorción con pulverizador. Será necesario proporcionar un control de pH en el licor del reactor;
- f. guiar los gases de combustión a la chimenea a través de un ventilador de corriente inducida con recalentamiento parcial de los gases de combustión;
- g. utilizar precipitadores electrostáticos húmedos o secos, reactores Venturi o filtros de tela. Es poco probable que los separadores inerciales, por ejemplo ciclones si se usan solos, muestren valores de emisión bajos.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce las emisiones del gas de combustión generado. Un secador con pulverización seguido de filtros de tela o cerámicos ofrece la ventaja adicional de permitir reacciones de neutralización entre los residuos sólidos retenidos y el flujo de gas de escape. Esto puede provocar una reducción del 10-15 % en los requisitos sobre álcalis para un secador con pulverización en comparación con un reactor húmedo.

La tabla 4.40 muestra los niveles alcanzables de las sustancias clave en el marco de los procesos implicados.

Sustancia	Niveles alcanzables (mg/Nm ³)
Partículas totales	20
Cloruro de hidrógeno	30
Dióxido de azufre (como SO ₂)	50
Óxidos de nitrógeno (como NO ₂)	350
Monóxido de carbono (medido tras la última inyección de aire)	50
COV (como C) (excluida la materia particulada)	20
Dioxinas y furanos (equivalente tóxico internacional, EQTI)	1 ng/m ³

Notas: las concentraciones anteriores son para un seguimiento discontinuo.

Tabla 4.40: Referencias de emisiones al aire.
[29, UK Environment Agency, 1996]

Efectos cruzados

La técnica f del apartado Descripción requiere recalentamiento del gas de combustión.

Datos operativos

El regenerador incluye una cámara para el posquemador equipada y operada de modo que el gas de combustión resultante de la regeneración del carbón aumenta, tras la última inyección de aire, de un modo controlado y homogéneo y teniendo en cuenta las condiciones más desfavorables, hasta una temperatura de al menos 850 °C según medición en la pared interna de la cámara de combustión. Ésta debe mantenerse durante un mínimo de dos segundos en presencia de al menos un 6 %-vol de gas seco de oxígeno, según medición a la salida del posquemador. Para el carbón que se ha utilizado en aplicaciones industriales en las que es probable que haya presentes sustancias halogenadas u otras sustancias termorresistentes (por ejemplo, que contengan más que un porcentaje pequeño), la temperatura suele aumentar a 1100 °C como mínimo. El tiempo de residencia, la temperatura mínima y el contenido de oxígeno de los gases de escape deben verificarse. Sin embargo, en algunas circunstancias no especificadas por el GTT, puede ser posible conseguir un efecto equivalente en condiciones menos estrictas (puede encontrar información genérica sobre este tema en el BREF sobre IR).

Aplicabilidad

Los gases de combustión de los hornos de solera múltiple o de los hornos giratorios generalmente siguen una ruta de tratamiento similar. En el caso de los hornos giratorios encendidos en equicorriente, podría ser posible conseguir estas mismas condiciones sin un posquemador.

El tratamiento de gases de combustión depende de la aplicación en la que se ha puesto el carbón y de la naturaleza del combustible usado para encender el horno y el posquemador. El equipo descrito anteriormente puede emplearse normalmente para carbones que se han usado para el tratamiento de aguas potables y para aplicaciones aptas para el consumo alimentario. Para el carbón usado en aplicaciones industriales, pueden requerirse medidas de reducción más extensivas.

Las instalaciones de tratamiento de gases residuales pueden variar en función de la aplicación para la que se ha utilizado el carbón. Podrían ser necesarios requisitos más estrictos para el carbón utilizado para aplicaciones industriales. En estos casos, la posterior depuración química puede precisar llegar a los niveles de emisión alcanzables deseados. También podría ser necesario mantener la etapa de posregeneración a temperaturas de al menos 1100 °C durante un tiempo de residencia de dos segundos en presencia de un mínimo del 6 %-vol de oxígeno y gas seco para garantizar la oxidación completa de ciertos compuestos refractarios.

Motivo principal para su aplicación

En ciertas circunstancias locales y debido a asuntos visuales (por ejemplo, supresión visible de la columna de aire), a veces las técnicas c y f del apartado Descripción son requeridas por ciertas autoridades.

Bibliografía

[29, UK Environment Agency, 1996], [41, R.U., 1991], [42, R.U., 1995], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.4.4.3 Plantas de tratamiento de aguas residuales**Descripción**

Estos procesos necesitan un sistema para el tratamiento del efluente líquido generado en la instalación de tratamiento de gases de combustión. Algunas técnicas incluyen:

- a. aplicar precipitación de hidróxido en dos fases a diferentes valores de pH;
- b. utilizar precipitación de sulfuro para eliminar los metales;
- c. utilizar floculación, sedimentación, filtración o centrifugación para separar los materiales suspendidos. También podría ser necesaria una fase preliminar de pretratamiento químico o físico para acondicionar los sólidos suspendidos y mejorar la separación;
- d. ajustar el pH para fomentar la precipitación de sustancias químicas específicas y para conseguir un efluente aceptable,
- e. utilizar zeolitas naturales, resinas de intercambio iónico, carbón activo y técnicas de ósmosis inversa para eliminar impurezas nocivas (por ejemplo pesticidas). Otra posibilidad es la concentración por evaporación;
- f. aplicar un tratamiento biológico para eliminar la DBO, los fenoles, los cianuros y el amoníaco.

Beneficios ambientales obtenidos

La tabla 4.41 indica los niveles de emisión alcanzables para las sustancias clave en el marco de los procesos implicados.

Sustancia	Alcanzable ¹	Unidad
DQO		
Sólidos suspendidos	50 ²	mg/l
Cadmio	5 ³	µg/l
Mercurio	1 – 10	µg/l
Otros metales pesados	<0,5	mg/l
Dioxinas y furanos, HAP y otras sustancias orgánicas		
Simazina	1 ⁴	µg/l
Atrazina	1 ⁴	µg/l
Notas: ¹ Los niveles citados representan la media ponderada de la concentración mensual de flujo. ² Por sedimentación. Pueden conseguirse emisiones menores por filtración, en caso necesario, en función del agua de recepción y del nivel de contaminación con otros contaminantes. ³ Por precipitación y filtración, que cabe esperar que se alcance una reducción del 70 %. El tratamiento posterior en la instalación de tratamiento biológico de una instalación de alcantarillado conseguirá una reducción por debajo del límite de detección. ⁴ Para los carbones de aguas residuales, pequeñas cantidades de pesticidas pueden lixiviarse con carbón activo granulado (CAG) en agua residual antes de la descarga a la alcantarilla. Muchas instalaciones de regeneración de CAG instalan pequeños filtros de CAG en la salida a la alcantarilla como precaución.		

Tabla 4.41: Valores de emisión de agua alcanzables.
 [29, UK Environment Agency, 1996], [150, GTT, 2004]

Aplicabilidad

Aplicado al efluente del tratamiento de temple o depuración del gas de combustión.

Instalaciones de ejemplo

Existen muchos ejemplos en el sector.

Bibliografía

[29, UK Environment Agency, 1996], [150, GTT, 2004]

4.4.4.4 Técnicas para el control de la contaminación aplicables en la regeneración de carbón activo

Técnicas para el control de la contaminación destinadas a reducir partículas y gases ácidos	Aplicabilidad en la regeneración de carbón activo
Medidas primarias para el control de partículas	Temperatura del horno Velocidad de giro del horno giratorio Tipo de combustible
Medidas secundarias para el control de partículas y gases ácidos	Colectores mecánicos Reactores húmedos Reactor seco Precipitadores electrostáticos (PE) Filtros de tela
Medidas primarias para el control de NO _x	Reducir las temperaturas de combustión y del horno Reducir el exceso de aire y así disminuir la concentración de oxígeno atómico en áreas de mayor temperatura Reducir el tiempo de residencia en todas las áreas de mayor temperatura Controlar la tasa de emisión de calor del horno y eliminar los máximos de temperatura Recirculación de gases de combustión (RGC) Graduación del aire Graduación del combustible Aislamiento del horno Entrada reducida de aire (frío) secundario

	Baja relación aire/combustible
Medidas secundarias para el control de NO _x	Reducción catalítica selectiva (RCS) Reducción no catalítica selectiva (RNCS) Proceso DESONOX Proceso SNOX Proceso quelato AEDT SO _x NO _x RO _x BOX

Tabla 4.42: Aplicabilidad de las técnicas en la regeneración de carbón activo para el tratamiento de los gases de combustión.
[41, R.U., 1991], [150, GTT, 2004]

4.4.5 Regeneración de resinas

4.4.5.1 Técnicas para la regeneración de resinas

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- a. aplicar un sistema de compensación de pH,
- b. aplicar regeneración con agua caliente.

Beneficios ambientales obtenidos

Aumenta la tasa de regeneración de resinas. El uso alternativo de calor (es decir, agua caliente) para regenerar las resinas potencialmente consigue reducciones en el volumen de efluente y precisa menos requisitos de energía, en concreto cuando se emplea recuperación de calor en el fluido regenerado.

Aplicabilidad

La regeneración con agua caliente sólo es posible para resinas térmicamente estables.

Aspectos económicos

La principal técnica empleada para controlar las emisiones al agua es un sistema de compensación de pH. Un sistema así puede costar entre 30.000 y 40.000 libras esterlinas. Esto se compara con un coste total de la instalación del orden de 250.000 libras esterlinas, excluidas las obras civiles. La regeneración con agua caliente disminuye los costes operativos.

Bibliografía

[41, R.U., 1991], [42, R.U., 1995]

4.4.5.2 Técnicas para el control de la contaminación aplicables en la regeneración de carbón activo y de resinas

Puede utilizarse el mismo tipo de técnicas que en la regeneración de carbón activo. Por tanto, véase el apartado 4.4.4.4.

4.5 Técnicas que cabe considerar para la preparación de residuos que serán utilizados como combustible

Este apartado contiene técnicas que se considera que tienen un buen rendimiento ambiental (por ejemplo, el uso de un buen sistema de energía) o que pueden ayudar a conseguir un buen rendimiento ambiental (por ejemplo, sistemas de gestión ambiental). Las técnicas de este apartado contienen lo pertinente para la preparación de residuos que serán utilizados como combustible.

4.5.1 Ampliar los conocimientos sobre el combustible residual preparado

Descripción

Esta técnica está relacionada con la descrita en el apartado 4.1.1.1 sobre la caracterización de la composición de los residuos y con el sistema de gestión de calidad (SGC). La mezcla y la fusión (véase el apartado 4.1.5) también desempeñan un papel importante en este aspecto. La garantía de calidad de la preparación de los residuos que serán utilizados como combustible se basa en la necesidad de cumplir las especificaciones establecidas por la instalación de recepción. Algunas técnicas incluyen:

- a. entregar un informe al cliente que cubra las principales propiedades físicas y químicas del combustible residual, en concreto:
 - origen y número LER,
 - poder calorífico neto,
 - contenido de cenizas,
 - contenido de agua,
 - contenido de materia volátil,
 - contenido de biomasa,
 - composición química (especialmente C, H, O, N, S, P, Cl, F, Al, K, Na, metales pesados);
- b. limitar la cantidad de parámetros relevantes para cualquier residuo que será utilizado como combustible en cualquier instalación de coincineración (por ejemplo, contenido de cromo (VI), cromo total, plomo, cadmio, mercurio, talio, PCB, azufre y halógeno total para el uso en hornos de cemento).

Beneficios ambientales obtenidos

Transmite conocimientos al usuario del combustible sobre las posibles emisiones y sobre cualquier problema operativo que pueda surgir del uso del material como combustible. El usuario necesita suficientes especificaciones del combustible residual que será utilizado para reducir el posible impacto sobre las emisiones, la calidad de los residuos generados por el usuario del combustible residual, el comportamiento corrosivo y la calidad de los productos.

Datos operativos

Son necesarios trabajos de laboratorio (análisis).

Aplicabilidad

La mezcla real de los disolventes residuales en particular viene determinada por un buen conocimiento de los constituyentes para que cumplan los poderes caloríficos y los límites de los contaminantes, por ejemplo cloro y metales pesados.

Motivo principal para su aplicación

Combustibles sólidos valorizados CEN/TC 343 y «Especificaciones y clases» del GT 2. El uso de combustibles residuales y el desplazamiento de contaminantes a residuos o productos se

están convirtiendo en un asunto cada vez más importante. Por tanto, el uso de ciertos combustibles residuales debe restringirse en función del tratamiento posterior. Nuevos debates o regulaciones que limitan el cromo (VI) en el cemento a no más de 2 ppm por cuestiones de salud y seguridad pueden restringir el uso de algunos residuos que contengan cromo. Se dispone de algunas pautas (por ejemplo, Renania del Norte-Westfalia en Alemania).

Bibliografía

[14, Ministry for the Environment, 2000], [55, UK EA, 2001], [74, ENDS, 2002], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.5.2 Preparar distintos tipos de combustibles residuales

Descripción

La preparación de diferentes tipos de combustibles residuales debe considerar las características técnicas del proceso de combustión para usarlo (por ejemplo instalación de cemento, instalación de cal, instalación de energía [antracita, lignito], combustión especializada de combustible residual). Estos procesos de combustión tienen diferentes características técnicas.

El grado de operación del tratamiento de residuos depende de la aplicación del combustible residual. Algunos ejemplos son:

- a. tipo de residuo usado para preparar el combustible residual,
- b. técnicas usadas para el almacenamiento del combustible residual,
- c. tipo de alimentación del horno (material bruto, alimentación por inyección de aire),
- d. mezcla de combustible usada en el proceso de combustión,
- e. tipo de proceso de combustión, combustión en parrilla con diámetro <150 mm o pirólisis con diámetro <150 mm con una alta tolerancia de metales y partículas pesadas,
- f. tipo de alimentación del combustible residual: alimentación por inyección de aire de un alto horno con diámetro <20 mm (horno de cemento, instalación de energía con lignito) sólo para partes con una velocidad inferior a 2-3 m/s,
- g. tolerancia a ciertos componentes: por ejemplo, un contenido de cloro <0,3 % también depende de la mezcla de combustible (cemento) en contraste con, por ejemplo, <5 % en algunos combustibles residuales.

Los tipos de combustible residual sólido que pueden prepararse a partir de residuos no peligrosos suelen pertenecer a una de las siguientes categorías:

- a partir de RPD (residuos principalmente domésticos),
- a partir de residuos domésticos comerciales mezclados voluminosos y otros residuos,
- a partir de monoflujos secos o de flujos de residuos homogéneos seleccionados,
- a partir de tortas de filtración, lodos y otros residuos húmedos.

El tratamiento ha empleado una influencia en las características físico-químicas del combustible residual preparado. Por ejemplo, puede llevarse a cabo una trituración hasta el tamaño de grano requerido del combustible residual sólido. Otro ejemplo es que la limpieza puede separar el contenido de desechos y las impurezas extrañas mediante un procesamiento mecánico y trituración. Esto implica que es posible obtener un rendimiento del combustible de 100 al x % de la calidad del combustible debido al aumento del contenido de agua y de cenizas.

Beneficios ambientales obtenidos

Proporciona al usuario las propiedades físico-químicas requeridas del combustible residual.

Datos operativos

La tecnología empleada para preparar un combustible residual concreto depende de las características del material de entrada y de los requisitos de los usuarios y no se incluye en este apartado. Por ejemplo, el grado de procesamiento mecánico y biológico depende del origen del

residuo. Un tipo de residuo de diferentes orígenes puede tener diferentes composiciones/calidades. Por ejemplo, el papel/cartón 03 03 08, la producción de papel 15 01 01, el material de embalaje 19 12 01, el procesamiento mecánico 19 12 12, el procesamiento mecánico (incluidas mezclas) 20 01 01 y los residuos municipales tienen diferentes composiciones. Otro ejemplo pueden ser los pañales, a) como residuo de producción, b) como fracción calorífica elevada del residuo sólido municipal (aprox. 15-20 % del peso de los pañales).

La influencia de la recogida de residuos (y en el caso de residuos de consumo, los hábitos nacionales o regionales) en las características de los flujos de residuos debe tenerse en cuenta.

Motivo principal para su aplicación

También se dispone de algunas pautas (por ejemplo, Renania del Norte-Westfalia en Alemania).

Bibliografía

[150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.5.3 Técnicas para la preparación de combustibles residuales sólidos

Este apartado contiene técnicas aplicadas a la preparación de combustibles residuales sólidos a partir de residuos peligrosos y no peligrosos. Los apartados de Aplicabilidad para estas técnicas ofrecen más pautas respecto a dónde se aplican las técnicas. No obstante, las técnicas de los apartados 4.5.3.1 a 4.5.3.5 son relevantes para cualquier tipo de residuo. Las técnicas de los apartados 4.5.3.6 a 4.5.3.12 se aplican principalmente a residuos no peligrosos. Sólo se ha incluido una técnica específica para residuos peligrosos y se halla en el apartado 4.5.3.13.

4.5.3.1 Selección de técnicas empleadas para la preparación de combustibles residuales sólidos

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- a. separar los residuos sólidos (por ejemplo residuos domésticos) y triturar los residuos de la fracción voluminosa antes de la operación de separación;
- b. aplicar un separador magnético;
- c. llevar a cabo operaciones de mezclado y tamizado en áreas cerradas;
- d. usar dispositivos de mezclado con nitrógeno para crear la atmósfera inerte cuando haya riesgo de explosión.

Beneficios ambientales obtenidos

Las operaciones de separación y trituración son esenciales para conseguir resultados satisfactorios de separación y para facilitar el posterior tratamiento térmico. Otro motivo es que estas técnicas pueden prevenir las emisiones indirectamente fugitivas de polvo y COV.

Datos operativos

La reducción de tamaño requiere mucha energía a altos costes, pero puede ser inevitable en casos con material voluminoso.

Aplicabilidad

Residuos peligrosos y no peligrosos. La técnica a del apartado Descripción no está adaptada a la producción de combustibles residuales a partir de residuos peligrosos. Esta técnica podría resultar ventajosa, pero existen otras estrategias que también funcionan. La técnica d se aplica a residuos peligrosos con riesgo de explosión.

Algunos residuos especiales de la preparación de residuos no peligrosos pueden no precisar algunas de las técnicas especiales mencionadas anteriormente. Algunos ejemplos identificados

son las instalaciones que producen combustibles residuales a partir de flujos de orígenes separados, por ejemplo residuos de recortes de la fabricación de plásticos o residuos del procesamiento del papel residual. Sin embargo, esta excepción depende de la experiencia del operador del TR con el residuo específico. Esto significa que el operador del TR debería conocer bastante bien al cliente, la composición del residuo procesado y el modo en que el cliente recoge el residuo. Sólo de este modo pueden evitarse partes que, de lo contrario, podrían causar problemas en la instalación de TR o en la calidad del combustible residual producido.

Motivo principal para su aplicación

La técnica d del apartado Descripción se suele regir por la legislación para evitar accidentes.

Instalaciones de ejemplo

La seguridad del dispositivo de mezclado puede garantizarse añadiendo nitrógeno para hacer el residuo inerte. La reducción resultante del contenido de oxígeno (condiciones de trabajo entre el 6 y el 8 % de oxígeno) se consigue añadiendo nitrógeno para crear la atmósfera inerte. Por ejemplo, una técnica así permite mezclar residuos con un punto de inflamación inferior a 0 °C.

Bibliografía

[122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.5.3.2 Secado del combustible residual sólido

Descripción

Dependiendo del contenido de agua y de las características físicas de los residuos, puede aplicarse un primer paso de deshidratación. Puede comprender una de las siguientes operaciones: espesamiento por gravedad, espesamiento por centrifugación, espesamiento por flotación, espesamiento del tambor rotativo y de la cinta por gravedad. Algunas técnicas incluyen:

- a. usar secado térmico para el material. En los secadores de convección (directos o adiabáticos), hay un contacto directo entre el medio de calentamiento y el producto que se va a secar. La humedad del combustible se elimina con el medio de calentamiento. En los secadores de conducción, no hay contacto directo entre el medio de calentamiento y el producto. La transferencia de calor tiene lugar a través de las superficies de calefacción. La humedad se elimina con un gas portador, que corresponde aproximadamente al 10 % de la cantidad usada en procesos convectivos. En consecuencia, los secadores de conducción pueden ser preferibles para residuos polvorientos y olorosos;
- b. usar un sistema de degradación/secado. Según el proceso aplicado, la degradación es más o menos marcada; en ocasiones, el foco de atención está en el secado. En función del sistema aplicado, el agua del proceso que surja de forma imprevista durante la degradación biológica deberá limpiarse antes de liberarse a la corriente de agua. Para mantener la actividad biológica, el sistema se alimenta con aire. El aire de escape se recoge y también debe limpiarse.

Beneficios ambientales obtenidos

Aumenta el poder calorífico del residuo sólido y, en ciertos casos, consigue unos resultados de separación satisfactorios.

Efectos cruzados

En el caso del secado térmico, se necesita calor. Un estudio demuestra que, en el caso de secar lodos de alcantarillado, la recuperación de energía es mayor en el caso del secado térmico. Los motivos son que la energía necesaria para el secado biológico (proporcionada por el material orgánico del lodo de alcantarillado) es mayor y el poder calorífico del combustible residual tiende a ser menor.

Aplicabilidad

Los secadores de infrarrojos no se aplican para el secado de residuos sólidos. Aplicable a la deshidratación y al secado de lodos.

El secado biológico es más bien aplicable a residuos no peligrosos.

Bibliografía

[64, EIPPCB, 2003], [86, GTT, 2003], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

4.5.3.3 Separación magnética de metales ferrosos

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- a. instalar un separador magnético de tipo Overband a lo largo de las cintas transportadoras justo sobre la trayectoria del material;
- b. volver a separar el material con un separador de tambor magnético o con una polea magnética, ya que pueden quedar pequeñas partículas de hierro bajo la capa no magnética;
- c. aumentar la velocidad de la cinta transportadora para conseguir un bajo nivel del material;
- d. usar un esquema de sobrealimentación para el separador de tambor magnético.

Beneficios ambientales obtenidos

Se pueden emplear separadores magnéticos para extraer el hierro y el acero como recurso, por ejemplo extraer los recipientes de hojalata del envasado ligero. Esto también puede servir para proporcionar el servicio esencial de eliminar cualquier metal ferroso del residuo y así evitar problemas operativos posteriores y mejorar la calidad del producto; por ejemplo se emplean separadores magnéticos en procesos de reciclaje de cables para eliminar los metales, para evitar el desgaste o la rotura de las cuchillas de las cortadoras giratorias y para la subsiguiente limpieza del producto de cobre.

Es preferible la instalación longitudinal a la cinta, puesto que ayuda a retirar eficazmente el material desprendido de la trayectoria. Si el imán se alinea transversalmente al material (es decir, se suspende a través de la cinta transportadora), la energía del imán debe ser varias veces más alta que en el alineamiento longitudinal, ya que a veces se sitúan objetos no magnéticos encima de elementos ferrosos y el imán tiene que atravesarlos.

En la separación de residuos sólidos municipales (RSM) con cierto contenido de plásticos con una gran área de superficie, los separadores magnéticos de tipo Overband extraerán inevitablemente estos plásticos junto con los elementos ferrosos. Para minimizar esta descarga, se recomienda aumentar la velocidad de la cinta. Generalmente, los separadores magnéticos de tipo Overband ofrecen muy buenos resultados, con una extracción de hasta el 98 peso-% del hierro.

La ventaja del esquema de sobrealimentación en separadores de tambor magnético es que las partes ferrosas se ponen directamente en contacto con el campo magnético más intenso y, como consecuencia, se pueden separar bien los elementos de grano fino y ligeramente magnetizables.

Datos operativos

El modo de operación de cómo se puede introducir el material en el separador de tambor magnético es a través de un esquema de sobrealimentación o de subalimentación. En un esquema de sobrealimentación, el material se carga en el tambor justo antes de la cresta a través de un canal vibratorio. En este caso, sólo los elementos magnetizables se mantienen en la carcasa del tambor hasta que alcanzan el límite del campo magnético, punto en el cual el material cae del tambor y se recoge tras una lámina de separación no magnetizable.

En un esquema de subalimentación, la carcasa del tambor atrae metales ferrosos a través del espacio de aire y los deja caer —de forma similar a un separador magnético de tipo Overband— pero no antes de abandonar el campo magnético. Para una alimentación homogénea es indispensable el uso de canales vibratorios.

Aplicabilidad

Se usa cuando hay metales ferrosos presentes en el residuo. Normalmente los separadores magnéticos no pueden extraer el acero inoxidable. Esto se debe a que el acero inoxidable no es magnetizable o lo es en un grado muy bajo.

Normalmente en el procesamiento de residuos, la operación de subalimentación sólo es importante para aplicaciones especiales, por ejemplo el procesamiento de chatarra triturada. El polo de aproximación de este tambor causa un intenso campo magnético de gran alcance que permite extraer con seguridad la chatarra compacta y triturada. El transporte del material ferroso a la línea de caída se conseguirá con polos débiles adicionales. Debido a la fuerte abrasión durante la separación de la chatarra, la carcasa del tambor se fabrica con una lámina de acero al manganeso de 8 mm de grosor.

Motivo principal para su aplicación

La aplicación de la separación magnética depende del tipo de residuo procesado y de los requisitos del combustible residual. Algunos ejemplos son:

- usar separación de metal ferroso (o no ferroso) para reducir la abrasión en el caso de que sea necesaria una trituración fina con cuchillas para los requisitos del producto,
- la separación ferrosa o no ferrosa o la separación de la fracción fina mediante tamizado es útil si el contenido de cenizas está limitado,
- es necesario el enriquecimiento con un clasificador por aire si la tecnología de encendido solamente permite partículas con una baja velocidad de sedimentación en el combustible residual sólido.

Bibliografía

[126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

4.5.3.4 Separación de metales no ferrosos

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- a. acondicionar el tamaño de grano de los elementos no ferrosos del residuo para que tengan entre 3 y 150 mm antes de su separación mediante un separador de corrientes parásitas,
- b. usar un campo magnético alterno de alta frecuencia para mejorar la separación de los metales no ferrosos de grano fino,
- c. posicionar el sistema de polos magnéticos de forma excéntrica,
- d. usar canales vibratorios para conseguir una capa de grano simple con el fin de obtener buenos resultados de separación,
- e. separar las partículas ferrosas de grano fino con un tambor magnético en un esquema de sobrealimentación antes de aplicar la corriente parásita.

Beneficios ambientales obtenidos

Los separadores de corrientes parásitas pueden eliminar las partículas no ferrosas con un tamaño de grano de entre 3 y 150 mm. Así, un tamizado previo podría resultar ventajoso para aumentar la separación de metales no ferrosos del residuo.

El sistema de polos magnéticos se posiciona de forma excéntrica o céntrica. Los sistemas de polos centrales experimentan problemas con las partículas pequeñas de hierro, que pueden hallar una vía entre la cinta transportadora y la carcasa del tambor. Estas partículas son atraídas

a lo largo de todo el perímetro del tambor, se calientan y pueden provocar daños en el tambor de plástico. Adicionalmente, la posición del sistema de polos magnéticos en sistemas excéntricos es variable, de modo que el campo de mayor intensidad pueda dirigirse a la zona de rechazo.

Datos operativos

Es difícil separar componentes alargados y planos, como hojas de aluminio y alambres de cobre, debido a la debilidad de las corrientes parásitas en estos materiales.

Bibliografía

[126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

4.5.3.5 Separadores de todo tipo de metales

Descripción

En la preparación de combustibles residuales sólidos, se aplican separadores de todo tipo de metales principalmente para el procesamiento de plásticos. Pueden conseguirse rendimientos globales elevados si el material está diversificado antes del reconocimiento automático. Normalmente, los separadores de todo tipo de metales operan con una bobina de detección colocada de forma transversal a la dirección de transporte y dividida en segmentos simples. Si una partícula metálica entra en el campo magnético alterno de alta frecuencia de la bobina, influye en el campo. Este cambio se recoge en un microprocesador controlado electrónico que puede identificar el segmento de la bobina próximo a la partícula metálica. La partícula se separa mediante uno o más chorros de aire ubicados junto a las bobinas de detección. Los metales se separan gracias a una lámina divisoria.

Beneficios ambientales obtenidos

Mejora la separación de metales del residuo.

Aplicabilidad

Las bobinas de detección pueden detectar partículas metálicas de aproximadamente 1 mm o más. La forma y la masa no son importantes para el proceso de separación.

Motivo principal para su aplicación

Los separadores de todo tipo de metales se aplican para la separación automática de metales ferrosos y no ferrosos. Estos agregados se aplican si el contenido de metal en el material alimentado es bajo, cuando otras operaciones de separación no funcionan con suficiente eficacia debido a demandas muy altas sobre las calidades de los productos o cuando tienen que protegerse agregados posteriores, por ejemplo cuchillas giratorias.

Instalaciones de ejemplo

Aplicado en el procesamiento de plásticos.

Bibliografía

[126, Pretz, et al., 2003]

4.5.3.6 Separación positiva y negativa

Descripción

Existen dos estrategias de procesamiento diferentes, la separación positiva y la negativa:

- e. la separación positiva implica que sólo los materiales deseados con poderes caloríficos elevados y bajo contenido de sustancias peligrosas se eliminan del flujo de materiales. Esta estrategia conlleva una mayor cantidad de materiales de vertido controlado y a menudo una calidad superior del combustible residual sólido producido;

- f. las estrategias de separación negativas sólo separan los materiales que no se desean en el producto (por ejemplo, si se requiere reducir el contenido de cloro en el flujo de residuos puesto que pueden causar problemas cuando el flujo de residuos se incinera o co-incinera, una posibilidad puede consistir en reducir el contenido de PVC en el flujo de residuos). Con esta estrategia, la cantidad de materiales de vertido controlado puede ser menor puesto que otros materiales que pueden tener un contenido mayor de sustancias peligrosas acaban en el producto.

Beneficios ambientales obtenidos

Aumenta la calidad de los residuos separados o evita problemas con el tratamiento posterior de ciertos flujos de residuos.

Efectos cruzados

Algunos contaminantes no pueden eliminarse porque están retenidos u ocultos en el material, de modo que los dispositivos de detección no pueden reconocerlos.

Aplicabilidad

Aplicado en la producción de combustibles residuales sólidos a partir de residuos municipales sólidos. En función de la calidad necesaria, puede aplicarse separación negativa o positiva. Si se requiere un flujo de materiales de alto grado, se recomienda la separación negativa y los ingresos para el producto son superiores que para la separación positiva, pero la cantidad de producto es menor.

Aspectos económicos

En relación con los aspectos económicos de la separación positiva y negativa, no es posible hacer un comentario general.

Motivo principal para su aplicación

Dependiendo del grado de procesamiento y de la calidad deseada del combustible residual sólido, la cantidad de materiales enviados al vertido controlado puede variar en gran medida.

Instalaciones de ejemplo

Algunas estrategias de residuos sólo separan el material inerte y la fracción metálica, y también disminuyen el contenido de sustancias orgánicas y de agua. El resto acaba en el producto, lo que automáticamente reduce la cantidad de material que va al vertido controlado.

Bibliografía

[126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

4.5.3.7 Uso de asistencia neumática para la reducción del tamaño**Descripción**

Uso de asistencia neumática para procesar el material descargado de la trituración (reducción de tamaño).

Beneficios ambientales obtenidos

Algunos beneficios son:

- se reduce el contenido indeseado de material de grano extremadamente fino en el producto final,
- se enfrían los rotores, incluidas las cuchillas y la cubierta protectora,
- se reduce la demanda de energía,
- se asiste en el transporte del material.

Aplicabilidad

Aplicado en actividades de reducción de tamaño.

Bibliografía

[126, Pretz, et al., 2003]

4.5.3.8 Tamiz de tambor

Descripción

En función de la velocidad del tambor, se pueden utilizar diferentes modos de operación: cascada o catarata. La figura 4.9 ilustra estos modos.



Figura 4.9: Tamices de tambor.

[126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

El tamiz de tambor presenta los mejores resultados a una velocidad de giro del 70 % de la velocidad crítica en el modo de catarata. La desventaja del modo de cascada es que el tamiz creará grumos y los finos no se liberarán correctamente.

Para aumentar la eficacia, se fijan elevadores dentro del tamiz que recogen el material y lo llevan a un nivel más alto para que caiga en una zona libre. El material de alimentación con un contenido elevado de partículas gruesas (aprox. 100-250 mm) a menudo causa problemas como el bloqueo del tamiz, que a continuación provoca un descenso de la eficacia y un contenido elevado de partículas finas en la salida.

Beneficios ambientales obtenidos

Aumenta la proporción de separación. Las ventajas son que el funcionamiento no necesita establecer vibraciones, que es posible una mayor homogeneización y que es posible limpiar las superficies de las pequeñas partículas adherentes que a menudo tienen un alto contenido de metales pesados.

Para proteger el tamiz del bloqueo, se ha demostrado que resulta eficaz soldar casquillos.

Bibliografía

[126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

4.5.3.9 Mejoras de los filtros de polvo en los ciclones de los clasificadores de aire

Descripción

La reutilización del aire se ha utilizado para los clasificadores de aire y para la purga. Aproximadamente el 30 % del aire del flujo circular se descarga en el lado de presión del ventilador y se limpia mediante un filtro de polvo.

Beneficios ambientales obtenidos

Esta operación ofrece las siguientes ventajas:

- el filtro para separar el polvo puede diseñarse mucho más pequeño, ya que el aire que se va a limpiar supone menos de 1/3 del volumen de la operación convencional,
- el aire cargado con polvo no se desprende en los puntos de escape hacia el transportador de alimentación o la descarga de partículas pesadas,
- el aire circulante no concentra partículas de polvo ni humedad,
- la velocidad del aire en la zona de separación puede ajustarse con precisión mediante válvulas de mariposa.

Datos operativos

La cantidad de aire consumido por los clasificadores de aire depende de la geometría del conducto de clasificación.

Aplicabilidad

En cuanto a las aplicaciones en procesos de reciclaje, no todos los clasificadores de aire disponibles pueden aplicarse. En la mayoría de los casos, necesitan ser especialmente diseñados para tratar partículas grandes.

La velocidad del aire para papeles secos, plásticos de pared delgada y películas plásticas por ejemplo es de aproximadamente 11-12 m/s. La recuperación mínima de este material ligero muy calorífico es de aproximadamente el 70 %. La tasa de rendimiento global de los clasificadores de aire está limitada por la carga específica, con una capacidad máxima de 0,35 kg de sólidos/(m³ aire · h).

Bibliografía

[126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

4.5.3.10 Espectroscopia en el infrarrojo cercano

Descripción

El material que va a separarse a menudo se introduce en una cinta transportadora. El transportador suele funcionar a velocidades elevadas para que su función sea casi como un dispositivo de aislamiento. Las lámparas halógenas y el detector se instalan por encima de la cinta transportadora. El detector consta de un sensor de espectroscopia en el infrarrojo cercano (NIR) que escanea toda la anchura de la cinta transportadora y transmite los espectros característicos de los diferentes materiales a un procesador de datos. Las señales se comparan con una base de datos. El análisis considera el cálculo de la posición real en la cinta transportadora y la medición resulta en una fracción de segundo. La separación se lleva a cabo con un chorro de aire colocado en el extremo de descarga. El elevador de chorro de aire está equipado con varios chorros de aire individuales a una distancia de aproximadamente 30 mm entre sí. Cada chorro de aire se alimenta a través de un depósito de presión y se gobierna con válvulas magnéticas. El procesador de datos transmite una señal si la detección de una partícula es positiva y el chorro de aire la elimina. Aquí pueden activarse uno o más chorros de aire. El aumento brusco de la presión elimina la partícula, que a continuación se separa del flujo del material gracias a una lámina divisoria.

Beneficios ambientales obtenidos

La aplicación es la separación selectiva de tetrabriks, papel, cartón, plásticos mixtos como el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el polietilentereftalato (PET) y el cloruro de polivinilo (PVC). La recuperación real de los reciclables potenciales depende de las calidades de los residuos, aunque aproximadamente se puede conseguir el 80-90 % de la separación. Las calidades alcanzables de los productos son del 90-97 %. También reduce el contenido de metales pesados (por ejemplo, Sb, Cd, Pb) y el Cl del flujo de residuos se pueden separar ciertos residuos específicos que contienen estos componentes.

Efectos cruzados

La aplicación de esta técnica genera un flujo residual con un alto contenido de cloro y metales que necesitan tratamiento.

Datos operativos

La separación de materiales marrones y negros es imposible puesto que la luz de la NIR es absorbida casi por completo y por tanto no hay reflejo de la irradiación al sensor.

Aplicabilidad

Los dispositivos de reconocimiento automático pueden separar los tamaños de partícula entre 30 y 300 mm aprox. La anchura operativa de las cintas transportadoras varía entre 500 y 1400 mm. El rendimiento global de los embalajes ligeros preclasificados con tamaños de partícula de entre 50 y 200 mm asciende a 1-6 t/h.

Esta técnica se aplica para reducir el contenido de algunos compuestos en el combustible residual con el fin de conseguir la calidad requerida en el combustible residual producido.

Motivo principal para su aplicación

Reducción del contenido de metales pesados y de cloro en el combustible residual sólido. Algunas normas han sido realmente preparadas por el GT 2 del CEN TC 343. El cloro es uno de los parámetros empleados para definir las clases de combustibles recuperados. El contenido de del que se habla en realidad ronda el 3 %, lo que significa que los plásticos que contienen cloro orgánico, es decir, esencialmente el PVC, son aceptados en una proporción limitada.

Instalaciones de ejemplo

Existen varios ejemplos en Alemania sobre el uso de NIR para la producción de combustible residual sólido.

Bibliografía

[126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.5.3.11 Recogida automática

Descripción

El material pasa a un canal vibratorio que alimenta una cinta transportadora. Hay un detector de metales ubicado bajo la cinta transportadora, que envía datos específicos de cada partícula a la unidad informática. Adicionalmente, una cámara de color ubicada sobre la cinta transportadora procesa la información sobre las partículas y la envía a la unidad informática. Ambas líneas de información se analizan con un software especial antes de que la unidad informática transmita impulsos y ordene a las toberas eliminar las partículas individuales o permitir su paso (separación positiva o negativa). Los productos aceptados y rechazados son transportados por cintas simples al tratamiento o al almacenamiento.

Beneficios ambientales obtenidos

Aumenta la eficacia de clasificación de los distintos materiales de los residuos.

Aplicabilidad

Con una anchura de cinta de 1200 mm y dependiendo del material alimentado, es posible afrontar un rendimiento global de 2-8 t/h para un tamaño de grano de 3-250 mm.

Instalaciones de ejemplo

La recogida automática está ganando reconocimiento en el sector del tratamiento de residuos, especialmente si se requiere un producto con ciertas especificaciones.

Bibliografía

[126, Pretz, et al., 2003]

4.5.3.12 Granulación y aglomeración**Descripción**

Los aglomeradores de disco constan de una cubierta metálica con uno o más discos en el interior. La parte interna del reactor se rellena con material de forma discontinua. Los discos, que tienen superestructuras para remover el material mejor, empiezan a girar y convierten la energía de rozamiento en calor friccional. El material se homogeneiza removiendo y luego se empieza a fundir con el calor friccional creciente. En el momento en que el material empieza a plastificarse, el consumo de energía aumenta y puede dar la señal de vaciar el reactor. Tras el proceso, el material debe enfriarse.

Beneficios ambientales obtenidos

Aumenta la densidad de los productos.

Efectos cruzados

Debido a la fusión completa, el consumo de energía para este proceso es mucho mayor que para la granulación.

Datos operativos

En función del equipo para descarga, el material puede granularse.

Aplicabilidad

Puesto que estos sistemas dependen de la fusión de algunos componentes de los residuos, sólo puede aplicarse cuando dichos componentes están disponibles (por ejemplo, plásticos).

Bibliografía

[126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

4.5.3.13 Trituración criogénica**Descripción**

La trituración criogénica es un tratamiento de reducción de tamaño y de tamizado de embalajes llenos y vacíos a temperaturas muy bajas en atmósfera inerte. El objetivo radica en separar los embalajes usados de pintura, tinta y sustancias similares en fracciones, por ejemplo para su uso como combustible o como metales secundarios y plásticos, pero reduciendo las emisiones de COV y compuestos volátiles gracias a las bajas temperaturas utilizadas.

La primera operación es la separación entre las fracciones líquida y sólida. La fracción sólida se sigue procesando por trituración, tamizado y separación de metales a temperaturas de -100 °C a -196 °C (normalmente con nitrógeno líquido). A estas temperaturas, los materiales se tornan quebradizos y es posible una separación sencilla usando las herramientas clásicas.

En el tratamiento criogénico de embalajes usados de pintura y materiales similares, se incluyen los siguientes pasos:

- a. trituración en una trituradora y adición de nitrógeno para crear la atmósfera inerte. La fracción líquida (por ejemplo, lodos de pintura) se separa mediante tamizado;
- b. el tratamiento criogénico (a temperaturas muy bajas) con nitrógeno líquido ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$). Con este tratamiento, el material se endurece y, debido a los distintos coeficientes de dilatación de los componentes, la fijación se reduce;
- c. separación de los embalajes (por ejemplo, metal y plástico) y del contenido (por ejemplo, lodos de pintura) mediante un molino de martillo y un tamiz vibratorio;
- d. recogida de la fracción metálica por separación ferromagnética para reutilización;
- e. adición de serrín al lodo como adsorbente para solidificarlo. La fracción plástica y el lodo se envían a reciclaje como combustible.

Beneficios ambientales obtenidos

Debido a la atmósfera inerte usada durante el proceso de trituración, el riesgo de explosiones se minimiza. La fracción de lodo se prepara para utilizarse como combustible. En comparación con la incineración directa de estos residuos, la recuperación de energía es más elevada porque los metales se eliminan antes de la incineración. La separación de otros materiales, por ejemplo metales y plásticos, permite su uso.

Efectos cruzados

Se requiere electricidad para el proceso criogénico y para la producción de nitrógeno. Pueden generarse emisiones al aire, por ejemplo de COV e hidrocarburos volátiles. Para reducir las emisiones de COV al aire, los efluentes gaseosos se recogen y se limpian mediante un filtro de carbón activo. Los gases de escape se limpian de hidrocarburos volátiles por medio de un filtro de carbón activo. Las emisiones residuales se estiman en $0,06\text{ kg/t}$ de residuo de embalajes usados.

Datos operativos

El producto final de la operación son residuos orgánicos como polvo, metales, metales no ferrosos y plásticos. El consumo de electricidad por el proceso criogénico es de aproximadamente 31 kWh/t de residuo de embalajes usados. La cantidad de nitrógeno consumido es de aproximadamente $0,67\text{ t/t}$ de residuo de embalajes usados. Como adsorbente para el lodo se utiliza serrín. La cantidad consumida es de 170 kg/t de residuo. El serrín usado es un material residual, lo que significa un ahorro de materias primas.

Aplicabilidad

Algunos ejemplos son la preparación de combustible residual sólido a partir de embalajes usados de pintura y sustancias similares. Este equipo se suele emplear para el procesamiento de embalajes metálicos y plásticos llenos de pintura, tinta, lodo de aceite, barniz, cola, resina, etc. y residuos de caucho (por ejemplo, neumáticos). Los embalajes de otros residuos peligrosos, como por ejemplo pesticidas, sustancias químicas halogenadas y sustancias químicas de laboratorio, no pueden tratarse con este proceso debido al riesgo de difusión de sustancias tóxicas.

Instalaciones de ejemplo

En los Países Bajos, existe un ejemplo de instalación con una capacidad de 175.000 toneladas anuales.

Bibliografía

[122, Eucopro, 2003], [150, GTT, 2004], [156, VROM, 2004]

4.5.4 Técnicas para la preparación de combustible residual líquido

4.5.4.1 Técnicas genéricas para la preparación de combustible residual líquido

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- a. usar unidades de intercambio de calor externas al recipiente. Ahí, el vapor de agua se elimina y la carga de alimentación de aceite puede calentarse a 90 °C, lo cual sirve para separar la mayoría del agua suspendida (en oposición al agua disuelta). Esto ocurre como resultado de la reducción de la viscosidad de la fase oleaginosa (gracias al aumento de temperatura) usando separación por gravedad para conseguir el resultado deseado mientras el agua pasa al fondo del depósito;
- b. usar adsorción o condensación del carbón para evitar emisiones de COV. Al recurrir a la condensación, la fracción orgánica recogida puede emplearse como alimento para la caldera;
- c. eliminar el alto contenido sólido del residuo líquido que se va a usar como combustible. Para ello, el aceite caliente de los recipientes caloríficos se suele pasar por filtros abiertos para eliminar los sólidos. Éstos se sitúan en patios abiertos o en edificios. Los COV se emiten cuando el aceite caliente atraviesa los filtros para eliminar los sólidos. Los filtros usados suelen ser de tipo malla metálica vibratoria, habitualmente utilizados en relación con agregados minerales. La extracción del vapor de la filtración debe ser posible desde tapas situadas sobre filtros abiertos. También pueden emplearse centrifugadoras con el fin de separar los sólidos del aceite con la ventaja de emisiones mínimas;
- d. eliminar el aceite del efluente líquido antes de la descarga a alcantarillas contaminadas u otras aguas, normalmente mediante interceptores de aceite/agua, separadores de lámina inclinable o técnicas de filtración, y luego usar el aceite como combustible;
- e. asegurarse de que, en un interceptor de aceite multicámara, cada interceptor de aceite de una cámara sea suficientemente grande para permitir seis minutos de retención a un caudal máximo previsible;
- f. usar un agitador vertical sin ningún soporte dentro del depósito.

Beneficios ambientales obtenidos

Limpia y reduce las emisiones del tratamiento de residuos líquidos. Para la venta del combustible residual líquido, es esencial eliminar cualquier contenido sólido elevado que el aceite caliente retenga.

Efectos cruzados

Las emisiones de COV pueden ser importantes cuando el aceite se extrae de un depósito de procesamiento a canales abiertos y también cuando el aceite caliente pasa por el separador de lámina inclinable.

Datos operativos

La adsorción de carbón puede verse afectada por la presencia de vapor de agua. La acción de eliminar los sólidos es agresiva y los filtros deben ser robustos para tratar con los sólidos y con el aceite caliente. Los interceptores de aceite no pueden separar las sustancias miscibles del agua.

Los separadores de lámina inclinada (técnica d del apartado Descripción) requieren menos tiempo de retención. Los interceptores de aceite/agua se dimensionan según su diseño, los caudales máximos previsibles y los valores de emisión requeridos.

Aplicabilidad

Aplicable al procesamiento de aceites: el objetivo principal es producir un aceite combustible a partir del aceite usado. Dos tecnologías de mezclado son adecuadas para homogeneizar el combustible líquido:

- un mezclador marino alargado instalado en el techo del depósito,
- un sistema de bombeo que fusiona la parte superior y el fondo del depósito mediante circulación cíclica.

Las operaciones de secado y caldeo precisan tener en cuenta las emisiones y los riesgos de inflamabilidad.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [122, Eucopro, 2003], [152, GTT, 2004]

4.5.4.2 Craqueo térmico de aceites usados

Descripción

Véase el apartado 2.5.2.4.4.

Beneficios ambientales obtenidos

El uso de craqueo térmico en una refinería reduce las emisiones de CO₂, ya que reduce la entrada de crudo en la refinería.

Aspectos económicos

El craqueo térmico consume capital: los costes de capital y los costes operativos fijos representan aproximadamente el 80 % del coste total (excluida la compra de AU). Una instalación de craqueo térmico cuesta alrededor de un tercio o la mitad de la cantidad de una instalación de regeneración del mismo tamaño (aunque esa comparación no es necesariamente relevante, ya que las salidas producidas son diferentes). Los expertos coinciden en que el craqueo térmico, con su menor coste de capital, permite que las instalaciones sean rentables con un tamaño de 30 kt/a. No son necesarias subvenciones.

Parámetro	Capacidad A	Capacidad B	Capacidad C	Unidad
Capacidad	40	50	80	kt/a
Costes de capital	11	13	20	millones de euros
Coste específico	135	123	112	euros/tonelada de AR
Coste en rendimiento financiero ⁽¹⁾	50	46	44	
Ingresos	144	144	144	euros/tonelada de AR
Cuota de entrada del AR	-10	-21	-32	
⁽¹⁾ basado en una tasa de rendimiento financiero ajustada por riesgo del 15 % (incluido en el coste).				

Tabla 4.43: Costes y cuotas de entrada del aceite usado para tres capacidades distintas de una instalación de craqueo térmico básica.

[7, Monier y Labouze, 2001], [150, GTT, 2004]

El coste de inversión para usar el aceite usado como combustible en un reprocesamiento severo es de 12 millones de dólares (1995) para un tratamiento de 54 kt/a (supuestos: almacenamiento: 15 días; capital de trabajo: 15 días). El coste de inversión para Texaco Trailblazer, que produce gasóleos marinos, es de 11 millones de dólares (1994) para un tratamiento de 54 kt/a (mismos supuestos). Otra información muestra que el valor aproximado del aceite usado de lubricante cuando se utiliza en el reprocesamiento severo (el valor a la entrada de la instalación [1994] asumiendo una TIR del 15 % tras los impuestos y un capital de trabajo de 15 días) sin recogida es de 47 dólares/t y -63, incluido el coste de recogida (coste medio de la recogida valorado en 110 dólares/t en Europa).

Bibliografía

[5, Concawe, 1996], [6, Silver Springs Oil Recovery Inc., 2000], [7, Monier y Labouze, 2001]

4.5.4.3 Filtración por membrana como reprocesamiento ligero de aceites usados

Descripción

Cuenta con un pretratamiento para proteger el sistema de membrana.

Beneficios ambientales obtenidos

Mejor calidad de los aceites usados y protección de las membranas.

Aplicabilidad

Normalmente empleado al tratar el aceite usado mediante filtración por membrana.

Aspectos económicos

Coste añadido importante. Normalmente, el valor de la instalación requerida, incluido el de la protección de paso de membrana, resulta elevado en comparación con el valor añadido del producto.

Instalaciones de ejemplo

Refleja experiencia operativa.

Bibliografía

[150, GTT, 2004]

4.5.5 Preparación de combustible residual gaseoso

Descripción

La gasificación y la pirólisis son modos de preparar un combustible gaseoso. Véase el BREF sobre incineración de residuos para obtener más información sobre la transformación de residuos orgánicos en un gas que puede usarse como combustible o gas de síntesis.

Beneficios ambientales obtenidos

Produce gas combustible limpio; los contaminantes son retenidos durante el proceso en varias fracciones.

Datos operativos

La gasificación permite la ventaja de aceptar residuos mixtos, por ejemplo aceites usados y plásticos, lo cual resulta especialmente importante en el caso de que el aceite usado se devuelva a su recipiente original.

Aplicabilidad

Aspectos económicos

Puesto que suelen ser necesarias instalaciones de gran escala para alcanzar el punto de quiebre, sólo las instalaciones existentes se pueden utilizar para tratar residuos. No obstante, algunos avances recientes han demostrado que las instalaciones pequeñas que tratan unas 10-15 t/día pueden ser rentables.

Motivo principal para su aplicación

La escala de estas instalaciones es mucho mayor de lo que sería necesario para la eliminación del aceite usado, ya que normalmente no se construyen específicamente para este fin. Sin embargo, donde las instalaciones se construyen para otros fines, proporcionarían una vía de eliminación segura para el aceite usado de lubricante que conserva su contenido de energía.

Instalaciones de ejemplo

Existen algunas aplicaciones en Europa.

Bibliografía

[5, Concawe, 1996], [58, CEFIC, 2002], [150, GTT, 2004]

4.5.6 Técnicas de prevención y reducción aplicadas en la preparación de combustible residual a partir de residuos peligrosos

Técnica	Referencia cruzada en este documento	Aplicabilidad
<i>Medidas de prevención de polvo</i>		
Aplicar cierre y subpresión en las áreas de recepción, producción y almacenamiento	4.6.1	
Aplicar una sobrepresión en las áreas de trabajo (sala de control, cabina de vehículos, etc.) garantiza que el polvo no llegue a los trabajadores	4.6.1	Puede aplicarse a instalaciones existentes sin un rediseño completo de la instalación.
Asegurarse de que las operaciones de preparación y mezclado se lleven a cabo en áreas cerradas con conductos de escape de aire	4.6.1	
Manipular residuos polvorientos en áreas cerradas	4.6.1	Puede aplicarse a instalaciones existentes sin un rediseño completo de la instalación.
Emplear recipientes/ mezcladores/ filtros/ tamices/ separadores magnéticos/ equipos homogeneizantes cerrados	4.6.1	Puede aplicarse a instalaciones existentes sin un rediseño completo de la instalación.
Usar sistemas de pulverización/ atomización para humedecer el aire ambiente y confinado con el fin de evitar emisiones de polvo	4.6.1	
Asegurarse de que, antes del transporte, las cargas de serrín fresco, residuos polvorientos o combustible residual sólido se cubran eficientemente	4.1.4.1	Puede aplicarse a instalaciones existentes sin un rediseño completo de la instalación.
Aplicar una red de retención de polvo	4.6.5	Puede aplicarse a instalaciones existentes sin un rediseño completo de la instalación.
<i>Técnicas de reducción de polvo</i>		
Reactor húmedo	4.6.11	No se usa en las instalaciones existentes de producción de combustible residual debido a que algunos polvos son hidrófobos y a que el residuo húmedo no puede reutilizarse fácilmente en la producción de combustible residual.
Ciclones	4.6.3	No se suele utilizar en el sector. Esta técnica podría utilizarse únicamente en combinación con un filtro de mangas.
Filtros de mangas	4.6.5	Se usa ampliamente en el sector.
Precipitador electrostático	4.6.4	
<i>Tratamiento de aguas residuales</i>		
Tratamiento con carbón activo	4.7	Aguas residuales poco contaminadas.
Tratamiento térmico	4.7	Aguas residuales muy contaminadas.

Tabla 4.44: Técnicas de prevención y reducción aplicadas en la producción de combustible residual a partir de residuos peligrosos.
[122, Eucopro, 2003], [152, GTT, 2004]

4.6 Tratamientos de gas residual

Este apartado contiene técnicas usadas en el sector de tratamiento de residuos para reducir o controlar las emisiones al aire. Hay que hacer hincapié en la prevención de la producción y el desplazamiento de contaminantes.

Las emisiones de fuente puntual están relacionadas con las emisiones que resultan de la recogida de gas de un recipiente o área y que pasan a una chimenea o tubo de ventilación por reducción o directamente.

Este apartado sólo cubre las técnicas más importantes para el sector de tratamiento de residuos. En general, la mayoría de las técnicas ya se han descrito y analizado en otros BREF (referencias especiales al BREF sobre tratamiento y gestión de aguas y gases residuales y al BREF sobre incineración de residuos). Por este motivo, en este apartado no se pretende proporcionar un análisis completo de cada una de las técnicas, sino que el apartado se centra sólo en las cuestiones relevantes para el sector de tratamiento de residuos, incluidos los debates sobre lo que se consideran buenos valares de emisión alcanzables. Las técnicas preventivas se han tratado en el apartado anterior, ya que dependen en gran medida del tipo de proceso/actividad desarrollado.

4.6.1 Técnicas genéricas de prevención

Descripción

Algunas técnicas incluyen:

- a. utilizar un sistema blindado con extracción, o bajo depresión, en una instalación de reducción adecuada, especialmente durante procesos que implican la transferencia de líquidos volátiles o la manipulación de residuos que generan emisiones de COV, incluido durante la carga/descarga del depósito;
- b. aplicar un sistema de extracción de tamaño correcto que pueda cubrir los depósitos de retención, las áreas de pretratamiento, los depósitos de almacenamiento, los depósitos de mezcla/reacción y las áreas de filtro prensa, o contar con un sistema separado para tratar los gases de salida de depósitos específicos (por ejemplo, filtros de carbón activo de depósitos que contienen residuos contaminados con disolventes);
- c. cerrar por completo la instalación (por ejemplo en una cúpula);
- d. usar cubiertas sintéticas para el suelo. La cubierta sintética puede ser un fino revestimiento (0,1-0,15 mm) de plástico o un revestimiento grueso (0,75-1 mm) de plástico o de material geotextil. Se ha documentado la resistencia de varios polímeros a las sustancias químicas, a las condiciones meteorológicas, a la permeabilidad del gas y al desgarramiento. Normalmente, el material de barrera estará disponible en grandes rollos y puede aplicarse rápidamente a grandes cantidades de suelo. La cubierta sintética debe asegurarse contra el viento;
- e. usar barreras contra el viento.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce las emisiones fugitivas al aire (por ejemplo, COV y olores). La eficacia de las cubiertas para el suelo dependerá de la profundidad de la cubierta y del porcentaje de suelo contaminado que se puede cubrir. Las tasas de emisión medidas pueden reducirse sustancialmente (por ejemplo >95 %) añadiendo suelo compacto; no obstante, puede darse una migración lateral de los COV.

Si se garantiza, puede conseguirse la envoltura completa del lugar de la excavación para minimizar las emisiones fugitivas. La envoltura actúa como colector de las emisiones, que luego pueden enviarse a algún tipo de dispositivo de control para fuentes puntuales. La envoltura puede estar soportada por aire o por sí misma. Si se diseña y opera correctamente, la envoltura puede reducir las emisiones fugitivas a niveles insignificantes.

Para áreas de trabajo pequeñas, el uso de barreras contra el viento puede reducir las emisiones fugitivas (por ejemplo de COV) al disminuir la velocidad efectiva del viento en la superficie del suelo. Se ha demostrado que el material comercial poroso para cercados contra el viento que se suele utilizar en el control del polvo es más eficaz que el material sólido para cercados.

Las instalaciones que emiten olores y polvo pueden blindarse para evitar emisiones y reducir la cantidad de aire contaminado que debe limpiarse a continuación. Un sistema operativo de recogida del aire de escape garantiza un nivel mínimo de gérmenes, hongos, esporas, olores y partículas de polvo. Esto puede tener efectos positivos en la salud física de los empleados y reduce los períodos de ausencia por enfermedad.

Efectos cruzados

Un efecto colateral positivo de la envoltura es la reducción del ruido para los trabajadores de la instalación.

La cubierta de barrera sintética se puede dejar en su lugar indefinidamente, aunque la degradación física y la fotodegradación del polímero tenderán a limitar la eficacia de las barreras delgadas a unas semanas.

Las cubiertas para suelos serán menos eficaces en períodos prolongados y su uso tenderá a aumentar el volumen total y la masa del material que debe tratarse.

Datos operativos

El método más usado para el control de COV para fuentes de área, por ejemplo durante una excavación, es el uso de cubiertas que constituyen una barrera física al transporte de vapor. La barrera más sencilla es el uso de suelo relativamente limpio como cubierta para suelo contaminado. La capa de suelo aumenta la distancia de transporte necesaria para la difusión del vapor y, en consecuencia, reduce considerablemente la tasa de emisión, al menos temporalmente. La eficacia de la cubierta dependerá de su permeabilidad a los vapores presentes y del porcentaje de suelo adecuadamente cubierto. Las medidas de laboratorio de una membrana de PVC de 0,5 mm demostraron un rendimiento relativamente bajo para limitar la difusión de vapor.

Las cúpulas autosoportadas son más prácticas si regularmente entran y salen de la estructura camiones u otros equipos pesados.

Respecto a la necesidad de eliminación del polvo en instalaciones de tratamiento biológico, el proceso ascendente tiene una importancia crucial. En el gas de escape húmedo del proceso biológico, las emisiones potenciales de polvo se eliminan con eficacia. Todos los pasos mecánicos para el procesamiento de materiales secos conducen inevitablemente a emisiones de polvo. En este caso es necesaria la encapsulación de los agregados en cuestión. En estos pasos mecánicos, el aire de escape debe someterse a una eliminación eficaz de polvo. Pueden conseguirse valores inferiores a 10 mg/Nm^3 con diferentes técnicas. Entre las técnicas para prevenir la formación de bioaerosoles y polvos en instalaciones de tratamiento biológico, se incluyen:

- a. asegurarse de que el contenido óptimo de humedad se mantiene durante el proceso aerobio,
- b. asegurarse de que el material digerido retorne regularmente,
- c. realizar una buena preparación previa (véase el apartado 4.1.2.5),
- d. crear surcos/plantar árboles a lo largo de todo el perímetro de la instalación.

Aplicabilidad

Normalmente se usan cubiertas sintéticas para controlar las emisiones de COV de suelo excavado en pilas de almacenamiento a corto plazo. Las cubiertas sintéticas también se usan ampliamente para controlar las emisiones de COV durante el transporte en tren o por carretera.

Existen fuertes limitaciones que restringen el uso de envolturas completas en las pocas instalaciones donde otras opciones de control no son aceptables. Las temperaturas del aire dentro de la estructura pueden ser suficientemente elevadas como para influir en la productividad y la seguridad de los trabajadores. Los requisitos de seguridad adicionales, junto con el tiempo adicional necesario para que los camiones entren y salgan de la estructura, prolongarán probablemente el tiempo necesario para completar la excavación y, por tanto, aumentarán los costes.

Para grandes áreas de trabajo, el cercado es menos práctico. Las emisiones de COV (y partículas) de las pilas almacenadas pueden minimizarse controlando la posición y forma de las pilas. Cuando sea factible, las pilas pueden colocarse en áreas protegidas de los vientos dominantes del lugar. El área de superficie puede minimizarse para el volumen dado de suelo dando forma a la pila. La orientación de la pila afectará a la velocidad del viento a través de la misma; la velocidad mínima del viento tiene lugar cuando la longitud de la pila es perpendicular a la dirección del viento dominante.

La selección de una técnica de reducción de COV depende principalmente de las propiedades de los COV. Además, estas técnicas son especialmente sensibles al caudal y a la concentración.

Aspectos económicos

El coste de capital de la estructura para la envoltura total es relativamente elevado. Los costes operativos también pueden ser muy elevados si hay que tratar y extraer grandes volúmenes de aire para mantener las concentraciones de los contaminantes del aire del interior de la cúpula a niveles seguros para la salud de los trabajadores.

Técnica de control de emisiones	Coste de materiales (USD/m ² si no se da otra indicación)	Comentarios
Arcilla	4,15	Cubiertas, malla y membrana
Suelo	1,33	Supone 15 cm de profundidad; no incluye transporte de suelo
Virutas de madera, red de plástico	0,50	El coste de las virutas de madera varía con el lugar
Cubierta sintética	4,40	Supone 1,14 mm de grosor
Espuma de corta duración	0,04	Supone 6 cm de grosor; 0,7 USD/m ³ de espuma
Espuma de larga duración	0,13	Supone 3,8 cm de grosor; 3,3 USD/m ³ de espuma
Pantalla para el viento	40/m	Por metro lineal

Tabla 4.45: Sinopsis de los costes de control de emisiones para fuentes de área aplicados a la excavación y a la eliminación.
[30, Eklund, et al., 1997]

Instalaciones de ejemplo

La mayoría de las instalaciones químicas cuentan con un sistema de extracción y depuración del aire para los depósitos principales de procesamiento y para cualquier operación de pretratamiento que pueda producir descargas gaseosas tóxicas al aire. La mayoría de las instalaciones de TR tienen sistemas de reducción para controlar las emisiones al aire, pero el tipo y el nivel de control varían considerablemente.

Bibliografía

[30, Eklund, et al., 1997], [50, Scori, 2002], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [59, Hogg, et al., 2002], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.6.2 Sistema de detección y reparación de fugas

Descripción

Un sistema de detección y reparación de fugas (LDAR) para instalaciones que manipulan disolventes y otros materiales volátiles similares puede incluir:

- a. identificar y, siempre que sea posible, cuantificar las emisiones fugitivas significativas al aire de toda fuente relevante y estimar la proporción de emisiones totales atribuibles a las emisiones fugitivas para cada sustancia;
- b. usar medidas no intrusivas del volumen del depósito;
- c. remplazar las tapas del filtro al limpiar los filtros;
- d. almacenar los semisólidos del filtro en tambores sellados;
- e. almacenar las aguas contaminadas que tienen potencial para emitir olores en depósitos cubiertos;
- f. uso de almacenamiento en tambor (véase el apartado 4.1.4.2);
- g. asegurarse de que se realice la limpieza/eliminación de lodos de los depósitos y usar esquemas de mantenimiento para evitar actividades de descontaminación a gran escala;
- h. lavado de la cisterna si la carga puede generar olores. El agua de lavado/ residuo acuoso del lavado precisa ser descargado directamente a sistemas de almacenamiento reducido antes de abrir las cisternas. Abrir las cisternas el mínimo tiempo posible;
- i. controlar directamente la estanqueidad de válvulas, bombas, etc. usando un instrumento portátil de análisis por vapor orgánico para comprobar la existencia de fugas;
- j. emprender actividades de mantenimiento para corregir cualquier fuga detectada, por ejemplo remplazar el embalaje de la válvula.

Beneficios ambientales obtenidos

Detecta fugas de COV de válvulas, bombas y otros componentes de canalización.

Aplicabilidad

Apto para instalaciones que contienen un gran número de componentes de canalización (por ejemplo, válvulas) y que procesan una cantidad importante de los hidrocarburos más ligeros (por ejemplo, disolventes).

Aspectos económicos

El coste de una inspección de fugas y las reparaciones asociadas puede compensarse parcialmente con el ahorro debido a la reducción de las pérdidas de material al aire. Los ahorros dependen del valor del material perdido.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [116, Irish EPA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.6.3 Ciclones

Descripción

En todo tipo de ciclones se utilizan fuerzas centrífugas para separar partículas sólidas o gotitas líquidas de gases de combustión. Los filtros de ciclón se emplean para eliminar las partículas más pesadas que «caen» cuando los gases de combustión son forzados a entrar en un movimiento giratorio antes de que vuelvan a abandonar el separador. Existen dos formas: ciclón y multiciclón. El último separa polvos más finos.

Beneficios ambientales obtenidos

Los ciclones son eficaces para reducir las partículas $>10 \mu\text{m}$. No son eficaces con partículas $<10 \mu\text{m}$, que por tanto pueden requerir medidas adicionales, como por ejemplo filtros de tela. Algunos beneficios del uso de ciclones incluyen:

- eficientes en una gran variedad de concentraciones,
- el polvo recolectado puede reutilizarse en el proceso.

Efectos cruzados

Los ciclones crean un descenso de la presión en el flujo de gas que requiere un mayor consumo energético para superarlo y, por tanto, genera emisiones globales mayores. Gran desgaste con polvo abrasivo.

Datos operativos

Los ciclones son relativamente fiables. Las condiciones de funcionamiento incluyen:

- control del pH, del caudal y de la concentración de los licores del reactor y descenso de la presión del reactor (control del descenso de la presión con alarma),
- las concentraciones de salida precisan un control periódico en diferentes condiciones de funcionamiento.

Aplicabilidad

Esta técnica sólo puede utilizarse en combinación con un filtro de mangas. No es eficiente para separar partículas pequeñas.

Aspectos económicos

Los ciclones son relativamente poco costosos.

Instalaciones de ejemplo

Los ciclones se emplean en la preparación de combustible a partir de residuos peligrosos, donde éstos se utilizan en el recipiente de mezcla como parte del proceso de estabilización. También se utilizan para el tratamiento de los gases de escape de instalaciones FQ.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003]

4.6.4 Precipitadores electrostáticos (PE)

Descripción

Los precipitadores electrostáticos emplean altos voltajes para atraer y eliminar la materia particulada de los gases de combustión. Existen dos tipos diferentes de operación: seca, que implica la recogida del polvo en electrodos bajo influencia de un campo eléctrico, y húmeda, que es igual excepto que los electrodos se limpian para aumentar la eficacia.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce las emisiones de partículas. Elevada eficacia de recogida de partículas gruesas y pequeñas. Eficaz a altas temperaturas y eficaz para la recogida de partículas líquidas.

Aplicabilidad

Esta técnica no es apta para partículas orgánicas debido al elevado riesgo de explosión que entrañan.

Instalaciones de ejemplo

Se usa para el tratamiento de los gases de escape de instalaciones FQ.

Bibliografía

[122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

4.6.5 Filtros de tela

Descripción

La creación de una barrera separa el polvo de los gases de combustión. Las partículas sólidas son atrapadas por un tejido de calada, mientras que el flujo de gas no puede atravesarlo. La eficacia del filtro puede mejorarse precubriendo la tela del filtro antes de ponerla en línea.

Beneficios ambientales obtenidos

- alta eficacia de recogida de partículas gruesas y pequeñas,
- eficaz con una gran variedad de concentraciones,
- el polvo recogido puede reutilizarse en el proceso,
- alta eficacia de recogida a altas temperaturas si se emplean materiales especiales como el teflón.

Características	Filtro de tela
Intervalo del flujo de entrada (m ³ /hora)	1000 a 50.000
Concentración de entrada (mg/Nm ³)	100 a 5000
Concentración de salida (mg/Nm ³)	<10
Riesgos	Explosión
Consumo (por tonelada de combustible residual producido)	
Electricidad (kWh)	2,5 a 3,5
Combustible/gas (litro)	-
Reactivo (natural y kg)	-
Residuos	-
Costes (EUR/t de combustible residual producido al año)	
Coste de inversión	Hasta 4
Coste operativo	0,15
Coste de mantenimiento	0,1

Tabla 4.46: Filtración de polvo con filtro de tela.
[122, Eucopro, 2003]

Efectos cruzados

Los ciclones y los filtros de tela crean un descenso de la presión en el flujo de gas que requiere un mayor consumo energético para superarlo y, por tanto, conduce a emisiones globales mayores. Una fuente principal de residuos peligrosos en un gran número de industrias es el polvo que emana del equipo de control de la polución del aire (por ejemplo de una cámara de filtros de mangas). Al igual que ocurre con los sistemas de aguas residuales, los colectores de polvo comunes se utilizan en distintas áreas de producción, lo que genera una mezcla de diferentes tipos de polvos y así se excluye el reciclaje. En algunos casos, pueden efectuarse modificaciones en los colectores de polvo para que cada fuente diferente de residuos vaya a un compartimiento diferente y así se evite la mezcla de diferentes tipos de residuos y aumente el potencial de reciclaje.

Datos operativos

La limpieza in situ puede conseguirse con pulso de aire, contraflujo de aire o derivación mecánica. La fiabilidad depende en gran medida del material del filtro. Los filtros de tela pueden entrañar riesgo de explosión. Los filtros de tela están equipados con un control de caída de presión que incluye alarmas y, a menudo, medidas de las concentraciones de entrada y de salida. La presión se suele usar como sucedáneo instantáneo para el análisis de la concentración. No obstante, de vez en cuando se efectúa un control de laboratorio sobre la concentración de salida para cuantificar las emisiones. Puede emplearse un medidor de opacidad o un detector de colisión de partículas para controlar el rendimiento. Es necesario que haya un programa en marcha para la limpieza regular de los filtros físicos.

Aplicabilidad

Aplicado a emisiones fugitivas y emisiones de fuente puntual al aire. Los filtros de tela se suelen usar como dispositivos secundarios o terciarios para la limpieza de gases en combinación con un ciclón o un reactor seco situado por encima. Generalmente, los filtros de tela no son aptos para el uso en flujos cargados de humedad o con características ácidas, alquitranadas o viscosas. Esto se debe a los efectos adversos de la «obturación» de la tela y a problemas de adherencia.

Instalaciones de ejemplo

Los filtros de mangas se usan en la preparación de combustible residual. También se emplean en el recipiente de mezclado en el proceso de estabilización en la producción de botes de aerosol (por ejemplo para la eliminación del polvo) y para el tratamiento de los gases de escape de instalaciones FQ.

Bibliografía

[53, LaGrega, et al., 1994], [55, UK EA, 2001], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

4.6.6 Separadores de láminas

Descripción

En los separadores de láminas, el flujo de aire pasa por varias láminas paralelas que tienen protuberancias descolgadas, lo cual fuerza al flujo de aire a cambiar de dirección. Debido a la inercia de las partículas, se separan en el colector de polvo y abandonan el flujo de aire.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce las emisiones de partículas.

Aplicabilidad

Los separadores de láminas sólo se aplican para la separación de partículas de polvo ásperas.

Bibliografía

[126, Pretz, et al., 2003]

4.6.7 Adsorción

Descripción

En los procesos de adsorción, el contaminante se elimina del flujo de gas residual y es adsorbido específicamente por el adsorbente. La purificación del aire de escape por adsorción consta básicamente de dos pasos de tratamiento:

- a. reducción del contaminante por adsorción y acumulación en un adsorbente,
- b. regeneración del adsorbente.

Los contaminantes del flujo de gas residual se acumulan en el adsorbedor. Cuando se alcanza la capacidad de carga del adsorbente, los contaminantes adsorbidos son desorbidos para permitir la reutilización del adsorbente. La desorción normalmente se lleva a cabo con flujo de aire caliente, cuyo volumen es considerablemente menor que el flujo de gas residual. El gas nocivo desorbido concentrado se elimina en un paso de tratamiento posterior.

La adsorción se basa en el principio de los centros activos en una matriz porosa. Distintos adsorbentes pueden distinguirse principalmente por su capacidad para adsorber agua. Así, pueden dividirse en adsorbentes hidrófilos e hidrófobos.

Actualmente se han desarrollado instalaciones para el tratamiento de gases con un bajo contenido de disolventes. Éstas se basan en nuevos materiales de adsorción que presentan una gran estabilidad química y mecánica y pueden adsorber a bajas temperaturas y desorber a una temperatura determinada. Los disolventes concentrados pueden quemarse sin añadir combustible in situ.

Aunque el carbón activo es el material de adsorción más extendido, existen otras alternativas como el gel de sílice, la alúmina y las zeolitas. En el tratamiento de gas residual, la adsorción tiene lugar con un filtro de carbón activo. El carbón activo tiene un gran volumen de poros muy pequeños que crean una gran superficie. Los carbones activos comunes tienen áreas de superficie de 600-1200 m²/g. El gas de escape puede purificarse con una carga o inyección de carbón activo en el flujo de aire seguida de una separación posterior mediante un filtro textil.

Beneficios ambientales obtenidos

Algunos de los beneficios de esta técnica son:

- aplicable a una amplia gama de componentes,
- el carbón activo usado puede recuperarse varias veces o puede emplearse como combustible,
- la adsorción en carbón activo presenta eficacias similares a las de los oxidantes térmicos, pero menos riesgo de explosión instantánea, volviendo a los vehículos cargados/descargados.

Características	Nivel
Intervalo de flujo de entrada (Nm ³ /h)	<50.000
Concentración de COV de entrada (g/Nm ³)	<0,5
Concentración de COV de salida (mg/Nm ³)	40 – 110
Necesidad de aspiración de polvo preliminar	Sí
Riesgos	Saturación rápida
Residuos	
Consumo (por tonelada de combustible residual producido)	
Electricidad (kWh)	25 – 75
Combustible/gas (kWh)	-
Otros combustibles o biogás	
Reactivo (kg)	0,1-0,5 g/COV (para carbón activo)
Costes	
Costes de inversión (EUR/t de capacidad)	10 – 30
Costes operativos (EUR/t de combustible residual producido)	1,65 1 – 3
Electricidad	0
Combustible/gas	
Otros	
Costes de mantenimiento (EUR/t de combustible residual producido)	0,5

Tabla 4.47: Datos técnico-económicos para la adsorción.
[122, Eucopro, 2003]

Las emisiones de COV del colector de carbón (disolventes clorados) son de 8-32 mg/Nm³ o 215 kg/a al limpiar aceites usados de lubricantes.

Efectos cruzados

Rendimiento limitado debido a la captura incompleta de algunas moléculas orgánicas. También puede entrañar riesgo de combustión y de explosión. Este método captura pero no destruye los compuestos orgánicos. Los filtros de carbón saturado necesitan un tratamiento posterior.

Datos operativos

La reducción puede sobrecargarse y volverse ineficaz. El uso de carbón activo es eficaz para la captura de los COV, que principalmente se originan en las instalaciones de almacenamiento. La capacidad de adsorción del carbón activo depende de la naturaleza de los COV particulares, pero se limita a un máximo de 300 g/kg de carbón activo. Algunos puntos destacables son:

- diseño simple,
- estabilidad en el tiempo,
- aceptación de concentraciones localizadas elevadas,
- en algunas concentraciones (elevadas) de COV, la adsorción es exotérmica y debe ser controlada para evitar la combustión/explosión.

Se espera que la vida del carbón usado en la reducción para el almacenamiento en instalaciones de tratamiento de aceites usados sea larga. Esto se debe a que, en esta aplicación, sólo se tiene en cuenta la respiración y no las pérdidas de desplazamiento.

Si se aplica un filtro de carbón activo, el aire de escape debe ser purificado del polvo en primer lugar, ya que el polvo puede causar coagulación y puede suponer un aumento del gradiente de presión.

La capacidad de carga de los adsorbentes se ve influida por una serie de factores:

- propiedades físico-químicas de las sustancias que se van a adsorber (especialmente el punto de ebullición),
- concentración de la sustancia,
- adsorción competente de otras sustancias,
- coadsorción de agua,
- temperatura de adsorción,
- estructura de poros y tamaño de las superficies internas del adsorbente.

Aplicabilidad

La adsorción con carbón se utiliza para la reducción de los COV, del olor y de las emisiones fugitivas. La adsorción de carbón se usa habitualmente como técnica de reducción para puntos de extracción local, como por ejemplo en el amontonamiento, y para puntos de muestreo. Hay que procurar evitar que el flujo de aire se humedezca, ya que por la naturaleza polar de los adsorbentes comunes adsorberán preferentemente el vapor de agua. Por este motivo, la adsorción con carbón no es adecuada para la reducción de las emisiones de aire de un recipiente térmico para el reprocesamiento del aceite.

Existen varias aplicaciones para el carbón activo, por ejemplo, se aplica para la purificación y la eliminación de contaminantes orgánicos poco abundantes de flujos líquidos y de vapor.

Los sistemas de adsorción con carbón se suelen emplear en la extracción de vapor del suelo, pero ponerlos en marcha puede resultar costoso y generalmente no son aceptables para flujos de gas de mucha humedad. También son habituales en el tratamiento de emisiones de aire del lavado de suelos, la extracción de disolventes del suelo, la limpieza de suelos por descarga de agua, el tratamiento de botes de aerosoles, las instalaciones de tratamiento biológico y las instalaciones FQ (por ejemplo, para la adsorción de los componentes volátiles).

La adsorción con carbón no resulta adecuada para altas concentraciones o moléculas pequeñas, o si hay polvo. Así mismo, la adsorción con carbón no puede adaptarse a algunas moléculas como la acetona.

Aspectos económicos

Algunos puntos destacables son:

- esto ofrece costes operativos bajos para concentraciones de COV bajas,
- existe un coste adicional para renovar el carbón activo.

Las siguientes dos tablas (tabla 4.48 y 4.49) muestran datos sobre los costes para la adsorción.

Tratamiento	Flujo máximo (Nm ³ /h)	Coste de capital (dólares)
Adsorción con carbón (regenerativa)	170	20.000 ^a
	400	24.000 ^a
	800	33.000 ^a
	1770	12.000 ^b
Recipiente del carbón	160	700
	800	8000 ^c
	1600	6000
	6400	23.000 ^c
	160	50.000

^a Incluye sopladores, aireadores, controles, calibradores, válvulas y medidores de flujo.
^b Incluye sopladores, conectores flexibles y amortiguadores.
^c Unidades de lecho profundo.

Tabla 4.48: Costes de capital para controlar las emisiones de COV de sistemas de extracción para la purga de suelos.
 [30, Eklund, et al., 1997]

Especificaciones técnicas		
Capacidad	10.000 t/a	
Tipos de aceite	Aceites lubricantes usados	
Operación del proceso	Lotes	
Flujo de gas residual	0-50 Nm ³ /h	
Antigüedad de la instalación	10 años	
Antigüedad del equipo de control de polución	2 años	
Posibles técnicas de control	Coste del capital	Coste operativo (GBP)
Tambores de carbón activo*	Bajo	1100

*Supuesto: tres tambores de 60 kg en la instalación que requieren sustitución tres veces al año.

Tabla 4.49: Costes de control de las emisiones al aire de una instalación típica de reciclaje de aceite.
 [42, R.U., 1995]

Instalaciones de ejemplo

Preparación de combustible residual a partir de residuos peligrosos. La experiencia de funcionamiento de las instalaciones de tratamiento biológico (TMB) no está disponible actualmente.

Bibliografía

[30, Eklund, et al., 1997], [42, R.U., 1995], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.6.8 Condensación

Descripción

Los COV pueden eliminarse por condensación con nitrógeno líquido u otros agentes refrigerantes (por ejemplo agua de refrigeración). El condensador es un recipiente que incorpora un intercambiador de calor en el que un gas se enfría y pasa a fase líquida (es decir, se condensa). La valorización de COV por condensación criogénica con nitrógeno en disolvente

(-130 °C). Puede encontrar más información sobre este asunto en los BREF sobre sustancias químicas orgánicas de gran volumen (LVOC) y sobre el tratamiento común de aguas y gases residuales (CWW).

Beneficios ambientales obtenidos

Los COV condensados pueden valorizarse. Las emisiones alcanzables de COV pueden ser muy bajas, del orden de 10-50 g/h. Pueden conseguirse eficacias del 99,3 %. Las emisiones de cloroformo pueden ser de tan sólo 20 mg/Nm³. El nitrógeno es reutilizable para otros medios en la instalación.

Características	Valor
Intervalo de flujo de entrada (Nm ³ /h)	<100
Concentración de COV de entrada (g/Nm ³)	2 – 500
Eficacia (%)	>95
Necesidad de aspiración de polvo preliminar	No
Residuos	No
Consumo (por tonelada de combustible residual producido)	
Electricidad (kWh)	25
Combustible/gas (kWh)	-
Otros combustibles o biogás	
Reactivo (kg)	Nitrógeno
Costes	
Coste de inversión (EUR/t de capacidad)	20 a 60
Costes operativos (EUR/t de combustible residual producido)	2 a 6
Costes de mantenimiento (EUR/t de combustible residual producido)	<0,5

Tabla 4.50: Datos sobre la condensación con nitrógeno líquido.
[122, Eucopro, 2003]

Efectos cruzados

Consumo de nitrógeno y electricidad. Puede tener lugar la descarga directa de nitrógeno contaminado con otros compuestos.

Datos operativos

Sensibilidad a la presencia de agua. La presencia de vapor de agua en el aire puede bloquear el sistema y la condensación del agua en hielo, que podría fundir o helar los sistemas de flujo. Es necesario un período de descongelación. Consumo de nitrógeno de 18 kg/t de disolvente valorizado. Eliminación de los riesgos de seguridad. Los controles de temperatura y de presión son simples.

Aplicabilidad

Utilizado en casos en que sólo hay que tratar volúmenes o flujos relativamente pequeños, se dispone de nitrógeno líquido y la concentración de COV es demasiado elevada. Esta tecnología está disponible para volúmenes y composiciones estables. Las aplicaciones normalmente incluyen el tratamiento de las emisiones de recipientes térmicos para el reprocesamiento del aceite, que también incorpora una valorización de los componentes oleaginosos. La condensación puede emplearse como pretratamiento para la oxidación térmica que reduce los requisitos de combustible y el tamaño total de oxidante requerido. Aplicable a flujos de entre 50-100 Nm³/h y cargas de 1-10 kg/h. Es fácilmente aplicable a instalaciones existentes y es muy flexible para adaptarse a cambios en el flujo y en la concentración.

En las instalaciones FQ, los componentes volátiles se enfrían y se condensan para su tratamiento.

Aspectos económicos

Normalmente coste operativo elevado. Coste operativo de 2 EUR/t de disolvente tratado para un condensador de nitrógeno líquido.

Especificaciones técnicas		
Capacidad	10.000 t/a	
Tipos de aceite	Aceites lubricantes usados	
Operación del proceso	Lotes	
Flujo de gas residual	0-50 Nm ³ /h	
Antigüedad de la instalación	10 años	
Antigüedad del equipo de control de polución	2 años	
Posibles técnicas de control	Coste de capital (GBP)	Coste operativo (GBP)
Refrigerador de glicol	30.000	8000

Tabla 4.51: Coste del control de emisiones al aire de una instalación típica de reciclaje de aceite. [42, R.U., 1995]

Motivo principal para su aplicación

Regulaciones de seguridad.

Instalaciones de ejemplo

Preparación del combustible residual a partir de residuos peligrosos y valorización de disolventes. En un ejemplo de instalación de rerrefinado de aceite usado las unidades de deshidratación y eliminación del combustible utilizan intercambiadores de calor de condensación refrigerados con aire para la valorización del vapor. La valorización del vapor por destilación al vacío emplea condensadores de aceite y de agua de refrigeración. El vapor y los flujos no condensables se dirigen al calentador del proceso para destruir las sustancias orgánicas y olorosas que pueda haber presentes. Hay al menos ocho instalaciones en EE. UU.

Bibliografía

[42, R.U., 1995], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [66, GTT, 2003], [122, Eucopro, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.6.9 Espumas temporales y de larga duración

Descripción

Hay disponibles como mínimo seis productos espumosos. Las espumas varían en compatibilidad y eficacia para varias clases de contaminantes. Se dispone de equipos especializados para aplicar espumas en áreas grandes. La espuma se aplica a una profundidad de 15-76 cm, a tasas de cobertura de hasta 100 m²/min. El concentrado de espuma líquida se aplica a través de una tobera de aspiración de aire. El grado de expansión (es decir, el número de litros de espuma producidos por un litro de concentrado líquido) puede clasificarse como elevado (250:1), medio o bajo (20:1).

En general se utilizan dos tipos de espumas: temporales o de larga duración. Las espumas temporales proporcionan cobertura de hasta una hora, momento en el que se habrá liberado el 25 % o más del líquido incorporado en la espuma. Las espumas de larga duración contienen un aditivo estabilizador que amplía la vida útil de la espuma a días o incluso semanas.

Beneficios ambientales obtenidos

Reducción de las emisiones de COV. La eficacia de las espumas es bastante elevada en áreas no cubiertas. Se han medido reducciones de las emisiones a corto plazo del 75-95 % para la parafina total y para las sustancias aromáticas totales, respectivamente, in situ en períodos de 20 minutos. Se han medido reducciones de las emisiones de COV totales del 99-100 % usando espuma estabilizada in situ en períodos de 24 horas.

Las dos ventajas principales de las espumas son que pueden ser muy eficaces y que se pueden aplicar directamente al cangilón de la retroexcavadora y sobre el suelo contaminado expuesto.

Efectos cruzados

Hay que tener en cuenta varias desventajas de las espumas. Las gruesas capas de espuma necesarias para el control de las emisiones pueden aplicarse con más eficacia a superficies horizontales que a superficies verticales como los lados del pozo de excavación. Una cobertura incompleta de las superficies emisoras disminuirá marcadamente la eficacia de los controles. Como los concentrados de espuma suelen tener más del 90 % de agua, la adición de esta agua al suelo aumenta el peso del suelo, lo cual dificulta la manipulación y lo hace menos apto para el tratamiento térmico. Es difícil aplicar la espuma en días de viento y bajo ninguna condición puede ser necesaria la aplicación frecuente o la reaplicación de la espuma.

Aplicabilidad

Las espumas modificadas para la extinción de incendios se suelen emplear para controlar las emisiones de COV durante la remediación de instalaciones de residuos peligrosos que contienen compuestos tóxicos volátiles.

Bibliografía

[30, Eklund, et al., 1997]

4.6.10 Biofiltros

Descripción

«Biofiltro» es el término genérico que abarca todos los procesos de oxidación biológica que tienen lugar en un sistema fijo. Incluye los filtros de goteo convencionales, los biorreactores (población microbiana mantenida en líquido intravalvular) o los lechos biológicos (sistema fijo que emplea suelo, turba y corteza).

El biofiltro consiste en un aparato llenado con material descomponible como compost, corteza o una mezcla de turba y brezo, etc. Los microorganismos (hongos, bacterias, virus y algas) residen en el material. El aire de escape fluye a través del material mientras los microorganismos descomponen las sustancias tóxicas. El agua y el flujo de aire normalmente fluyen contracorriente. Un biofiltro no es un filtro en el sentido mecánico de la palabra (es decir, no da lugar a la separación de partículas), sino que es un reactor donde una serie de sustancias tóxicas determinadas se metabolizan a sustancias inocuas. Las calidades deseadas de los biofiltros se reseñan en la tabla 4.52.

Características	Descripción
Medios de filtración	Biológicamente activos, pero razonablemente estables
	Contenido en materia orgánica >60 %
	Poroso y friable con 75 %–90 % de volumen vacío
	Resistente a la explotación forestal y compactación de agua
	Contenido de productos finos relativamente bajo para reducir la pérdida de cabeza del gas
	Relativamente libre de olor residual
	Las mezclas de materiales específicamente diseñadas pueden resultar deseables para alcanzar las características anteriores
Contenido en agua	50 %–80 % en peso
	Deberá preverse la adición de agua y la extracción de drenaje del lecho
Nutrientes	Deberán ser adecuados para evitar limitaciones
	Normalmente no son un problema con los gases de digestión aerobia debido al elevado contenido en NH ₃
pH	De 7 a 8,5
Temperatura	Casi ambiental, 15 – 35 o 40 °C
Pretratamiento de gas	La humidificación podría demostrar ser útil para alcanzar una humedad del gas de entrada próxima al 100 %
	El polvo y los aerosoles podrán retirarse para evitar la obstrucción de los medios, pero en la mayoría de biofiltros esto no representa ningún problema (a menos que posean una capa de tejido en el fondo)
Velocidad de carga	<100 m ³ /h-m ³ , salvo que las pruebas avalen cargas más elevadas

del gas	
Tiempo de residencia del gas	30-60 segundos, salvo que las pruebas avalen un tiempo de residencia inferior
Profundidad de los medios	>1 m, <2 m
Capacidad de eliminación	Depende de los medios y del compuesto (normalmente en el intervalo de 10 – 160 g.m ⁻³ .h ⁻¹)
Distribución de gas	El tubo múltiple deberá estar adecuadamente diseñado para presentar un flujo de gas uniforme a los medios

Tabla 4.52: Calidades de los medios de biofiltración
[59, Hogg, et al., 2002]

A diferencia del biofiltro, en los biorreactores los microorganismos no se fijan al biorreactor sobre materias orgánicas. La biomasa fluye casi libre en la suspensión, que se pulveriza sobre el gas de escape en un flujo contracorriente. La principal diferencia existente es que la absorción de las sustancias tóxicas es local y está separada del metabolismo.

En una instalación de tratamiento de aerosoles, el aire de escape de las diferentes partes operativas se conduce a través de una capa de filtro permeable al aire por medio de ventiladores. Mientras el aire fluye a través de la capa del filtro, el contenido degradable se descompone mediante microorganismos que habitan en el filtro. Al objeto de garantizar que la capa del filtro siga siendo permeable al aire, lo que es esencial para el suministro de oxígeno al aire de los microorganismos, el aire de escape se limpia previamente para eliminar los sólidos (polvo). Simultáneamente, la limpieza humidifica el aire de escape, lo cual es necesario para evitar el secado de la capa del filtro. El biofiltro, por tanto, representa un reactor de lecho fijo aerobio para la descomposición bioquímica de sustancias orgánicas. El biofiltro, con una superficie de 1800 m², por ejemplo, puede tratar una corriente de aire de escape de aproximadamente 200.000 m³/h, lo que se traduce en una superficie de carga de filtro específica de 111 m³/m²/h. Debajo del biofiltro, existen áreas de suministro que se utilizan por las diferentes instalaciones de tratamiento (dotación de tratamiento y envío). Esta superficie está diseñada a modo de bandeja colectora. Además, se dispone de una instalación extintora de espuma estacionaria

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce las emisiones de olores y de COV procedentes de los compuestos naturales y de la síntesis de compuestos inorgánicos (por ejemplo: H₂S y NH₃), compuestos aromáticos y alifáticos (como ácidos, alcoholes e hidrocarburos). Otros compuestos que pueden degradarse son los disolventes no clorados, mercaptanos, aminas, amidas, aldehídos y cetonas. Su capacidad de tratamiento oscila entre 50 y 150 Nm³/h/m² en función del tipo de contaminante.

Sustancia (grupo)	Concentración de entrada (mg/Nm ³)	Concentración de salida (mg/Nm ³)	Eficacia del biofiltro (%)
Aldehídos, alcanos			75
Alcoholes			90
AOX, hidrocarburos aromáticos (benceno)			40
Hidrocarburos aromáticos (tolueno, xileno)			80
COVNM			83
PCDD/F			40
Olores			95-99
COVNM (valores en carbono total)	30-70	10-40	80

Tabla 4.53: Eficacia del biofiltro en el tratamiento mecánico-biológico de gases residuales (TMB)
[81, VDI y Dechema, 2002]

La eficacia de eliminación de un biofiltro se determina por el tiempo de residencia del gas en el lecho de medios. Los tiempos de residencia efectivos suelen oscilar entre 30 y 60 segundos en la mayoría de aplicaciones de digestión aerobia. En estudios realizados, se han registrado unas elevadas eficacias de eliminación con respecto a compuestos concretos como H₂S (>99 %), mercaptano de metilo, disulfuro de dimetilo, sulfuro de dimetilo (>90 %) y varios terpenos (>98 %).

Entre las ventajas ambientales cabe citar los bajos requerimientos energéticos y el que se evite la posible transferencia de contaminantes entre medios. Las mediciones en la aplicación práctica de biofiltros en instalaciones con tratamiento físico-químico han revelado unos resultados de aproximadamente 95 % a 98 % de degradación para los disolventes orgánicos, con unas concentraciones en el aire de escape a purificar comprendidas entre 400 y 1600 mg/Nm³.

En instalaciones con tratamiento biológico, los gases que emiten malos olores se alimentarán a través de un reactor (húmedo ácido, por ejemplo), que reduce el contenido en amoníaco hasta un nivel aceptable para el biofiltro, que elimina, a su vez, los olores y cualquier resto de amoníaco. El proceso de filtrado no crea compuestos tóxicos para el medio ambiente y, después de su uso, el filtro puede ser tratado mediante compostaje sin generación de residuos adicionales. Los niveles de amoníaco y olores después del tratamiento son de <1 mg/m³ y de 1000-6000 uoE/m³ (90 % de reducción), respectivamente.

La tabla 4.54 y 4.55 muestran la eficacia de los biofiltros aplicados a los tratamientos mecánico-biológicos (TMB).

Parámetro	Concentración (µg/m ³) mín-máx.	Eficacia (%) mín-máx.	Concentración (µg/m ³) mín-máx.	Eficacia (%) mín-máx.	Concentración (µg/m ³) mín-máx.	Eficacia (%) mín-máx.
Acetaldehído	2100-2500	78-89	46-740	89-96	4900-6100	99
n-butilacetato	150-425	97-99	30-120	83-96	170-980	73-99
Etilbenceno	250-310	12-42	60-190	27-61	250-740	16-43
2-etiltolueno	180-220	33-41	25-105	14-89	80-270	25-55
3,4-etiltolueno	480-640	23-45	70-260	38-96	230-1000	48-77
Limonano	1700-4300	29-40	810-2200	94-98	1300-3700	30-63
Tolueno	490-550	16-39	130-280		460-1000	7-36
m/p-xileno	850-1400	9-42	280-620	30-71	720-2000	19-45
o-xileno	260-290	23-41	60-150	7-63	160-650	20-45
Acetona	2450-2900	99-100	1200-2800	99-100	4700-8200	93-97
2-butanona	960-2800	99-100	80-770	94-99	370-11.000	95-100
Etanol	5200-5300	100	88-750	94-99	14.000-18.000	100
α-pineno	370-700	8-44	280-790	53-83	560-930	5-39
β-pineno	330-800	12-44	120-300	53-81	230-490	38-49

Tabla 4.54: Intervalos de concentración correspondientes a algunos parámetros del aire de escape del TMB, que demuestran la eficacia de la retención del biofiltro para estos compuestos [132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

Los procesos de purificación biológicos de gases de escape permiten reducir el contenido en aire/gas de escape de las instalaciones municipales de tratamiento de residuos sólo hasta un nivel limitado (normalmente COVNM superiores a 300 g/t de residuos). En la tabla 4.55 se reproducen algunos resultados de mediciones obtenidos con biofiltros mantenidos con humidificadores de aire de circulación ascendente.

Compuestos del aire de escape	Eficacia de separación (%)		
	Instalación A	Instalación B	Instalación C
Acetaldehído	De -18 a -99	99	99
n-butilacetato	83-96	73-99	97-99
Alcanfor	60-88	60-90	88-91
Cloruro de metileno	De -53 a -80	De -300 a -33	43-62
Disulfuro de dimetilo	44-78	De -55 a -89	10-31
2-hexanona	75-80	-	80-82
Naftaleno	50-75	38-93	58-82
Fenol	De -25 a - 79	75-88	47-94
1,4-diclorobenceno	0-73	De -1900 a -89	De -130 a -13
Etilbenceno	27-61	16-43	12-42
2-etiltolueno	14-89	25-55	33-41
3/4-etiltolueno	38-96	45-77	23-45
Limoneno	94-98	30-63	29-40
Estireno	64-89	44-66	21-50
Tolueno	29-50	7-36	16-39
m/p-xileno	30-71	19-45	9-42
o-xileno	7-63	20-45	23-41
Acetona	99-100	93-97	94-97
2-butanona	94-99	95-100	99-100
Etanol	94-99	100	100
Acetato de etilo	74-93	82	97-99
α-pineno	59-83	5-39	8-44
β-pineno	53-81	38-49	12-44
Benceno	0-17	-	0-20
Tricloroetano	De -108 a -3	67-90	20-46

La combinación de humidificadores de aire y biofiltros puede proporcionar distinto poder de purificación para sustancias orgánicas del primer y segundo grupo

Tabla 4.55: Eficacia de separación de compuestos orgánicos en el biofiltro [132, UBA, 2003]

En la tabla 4.56 se ofrece un resumen de los resultados de las actuales mediciones del biofiltro de una instalación de tratamiento de envases de aerosol. Obsérvese que las partes restantes del aire de escape del proceso de tratamiento se tratan en la instalaciones de incineración internas a alta temperatura.

Componente	Concentración media de gas sin refinar	Concentración media de gas depurado
Carbono total (DIL)	206	49
CHC/CFC	9,69	8,17
Benceno	1,07	0,35
Compuestos aromáticos	35,4	8,07
Éster y alcoholes	80,8	0,57

Resultados de 2003 y datos en mg/m³

Tabla 4.56: Gas sin refinar y gas tratado con un biofiltro en una instalación de tratamiento de envases de aerosol [157, UBA, 2004]

Efectos cruzados

Las emisiones de N₂O y de NO, por lo general, aumentan. Sin embargo, se ha demostrado que el uso de un reactor ácido para la eliminación de amoníaco (NH₃) antes de la biofiltración puede reducir las posibles emisiones de N₂O y de NO. El metano no se biodegrada y tampoco se

produce por el biofiltro. Los terpenos se producen por el propio biofiltro y se derivan de la degradación de cualquier tipo de materiales de madera en los medios de biofiltración. Algunas referencias cuestionan el hecho de que los biofiltros realmente reduzcan los COV ya que, según afirman, el propio biofiltro los produce.

Los grados de descomposición de los biofiltros estudiados en las instalaciones de TMB para compuestos individuales no son tan altos como los de varias aplicaciones especiales del sector industrial (80 % o > 90%). Para el COT no metánico (COTNM) tan sólo alcanzan una tasa de eficacia media del 40 %-70 %. Para el metano, la eficacia es cercana al 0 %. La eficacia de descomposición relativa a compuestos individuales en los gases de escape de las instalaciones de tMB ofrece unos valores positivos para los COTNM (por ejemplo: acetona, acetaldehído, limoneno y etanol), unos valores moderados para el BTEX y una reducción nula para los CFC.

Las eficacias de degradación parcialmente bajas del NH_3 , también con una posible inhibición de la descomposición del carbono, pueden mejorar con el uso de reactores ácidos (por ejemplo: ácido sulfúrico para la absorción de amoníaco) como sustitutos de los reactores neutrales. Las emisiones de NH_3 se minimizarán no sólo por ser olorosas sino también porque, en el biofiltro, unas estrechas relaciones de C/N del aire de escape del TMB pueden llevar a la formación de NO y N_2O .

Datos operativos

Los biofiltros suelen contener material poroso de un metro de grosor. El material utilizado en el biofiltro normalmente es una mezcla de compost verde característicamente montado sobre una estructura determinada. Estos sistemas son muy fáciles de construir y mantener. Es preciso controlar la alta porosidad (80 %-90 %), la humedad (60 %-70 %), el pH, la temperatura y el tiempo de contacto entre los nutrientes para el buen rendimiento del biofiltro. La humedad del biofiltro puede mantenerse con un sistema de agua especial o humidificando el gas a purificar antes de introducirlo a través del biofiltro.

La eliminación de COVNM en biofiltros depende en gran medida de la temperatura (es decir, de las condiciones climáticas), que es susceptible de reducir la eficacia del biofiltro.

En algunos casos, los materiales utilizados para los medios del biofiltro pueden no ser capaces de satisfacer por completo las demandas de todos los nutrientes esenciales de los microorganismos del biofiltro durante un período de tiempo más prolongado. En estos supuestos, el suministro de nutrientes adicionales es capaz de incrementar de forma significativa la eficacia del biofiltro.

La caída de presión es inferior a 50 mm de H_2O . La sobrecarga por superficie unitaria de los biofiltros no debería ser superior a aproximadamente $80 \text{ Nm}^3/\text{m}^2 \times \text{h}$.

Entre algunas de las cuestiones a tener en cuenta, cabe citar las siguientes:

- el aire entrante debe tener una humedad relativa >90 % (para ello podría ser necesario el uso de un humidificador),
- deben eliminarse las partículas,
- es posible que los gases calientes deban ser enfriados a una temperatura próxima a la de actividad óptima de los microorganismos aerobios, generalmente de 25 °C a 35 °C, y deberá tenerse en cuenta el posible aumento de temperatura en el lecho de hasta 20 °C,
- los principales parámetros operativos, como la temperatura de los efluentes gaseosos y la contrapresión, deberán comprobarse diariamente,
- el contenido en humedad de los filtros deberá supervisarse con regularidad,
- deberá instalarse una alarma de baja temperatura para avisar de la congelación, susceptible de dañar el filtro y que podría afectar a la proliferación microbiana,
- deberá ofrecerse soporte a los medios de relleno para permitir un flujo de aire rápido y uniforme sin caída de presión,

- los medios deberán retirarse cuando empiece la disgregación, que afectará al flujo de aire (la corteza es menos resistente que, por ejemplo, el brezo),
- la elección de los medios y de un sistema de apoyo afecta al requerimiento de potencia para el mantenimiento del flujo de aire, siendo la potencia necesaria para superar la resistencia del lecho lo que representa el mayor coste operacional,
- es preciso tener en cuenta el efecto de una pérdida de biomasa debido a la introducción de compuestos tóxicos y es necesario desarrollar un procedimiento de espera para dicho acontecimiento.

Incluso en el caso de optimizaciones (combinaciones con biorreactores en sustitución de reactores de agua) no se puede alcanzar una emisión baja y fiable de manera permanente. Para las emisiones de olores, puede obtenerse una marcada reducción (sólo con la permanencia del olor propio del filtro) si se lleva a cabo un acondicionamiento adecuado del aire de escape.

En el caso del tratamiento de gases de combustión a partir de la digestión aerobia del digestato generado en tratamientos anaerobios, la concentración de amoníaco es bastante elevada ($>30 \text{ mg/Nm}^3$), siendo en este caso necesario el pretratamiento químico de los gases de combustión antes de dirigirlos hacia el biofiltro.

Aplicabilidad

Los biofiltros se aplican para grandes volúmenes de corrientes de gases de escape que transportan cargas orgánicas bajas en los gases de escape concretos pero que desprenden olores intensos. Las concentraciones de componentes a tratar necesitan ser relativamente estables para obtener un buen rendimiento. Los lechos biológicos se han instalado en centros de tratamiento de residuos para la reducción de las emisiones de olores. Aplicable a todos los tipos de PTAR.

Los biofiltros se utilizan para el tratamiento de gases de escape en instalaciones de tratamiento de envases de aerosol, secado destilativo térmico de lodos, instalaciones con tratamiento biológico (TMB) e instalaciones FQ. En estas últimas, los biofiltros se utilizan para la adsorción de los componentes volátiles del material de compost y para la descomposición biológica de los componentes adsorbidos por microorganismos en el material de compost. Si el biofiltro corre peligro de desecación, el aire de escape a depurar deberá ser humectado.

Los biofiltros sólo son idóneos para corrientes de gases de escape de baja contaminación y, por lo tanto, se emplean únicamente para la purificación de las corrientes de aire de escape del recinto. La limpieza de gases de combustión por biofiltros o la limpieza biológica generada en instalaciones de digestión anaerobia han demostrado su utilidad.

Aspectos económicos

La biofiltración y la biodepuración conllevan unos costes operativos inferiores a los de muchas otras tecnologías de control de la contaminación del aire para el tratamiento de bajas concentraciones de contaminantes orgánicos biodegradables. De ambos, los biorreactores son los que conllevan un coste de mantenimiento superior. El tratamiento de flujos de gas superiores a $1500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ se considera rentable. Se calcula un coste de inversión de 550.000 euros para un biofiltro aplicado al tratamiento de olores de las PTAR con un flujo de $1800 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Características	Valor
Intervalo de flujo de entrada (Nm ³ /h)	<100.000
Concentración de COV de entrada (g/Nm ³)	<1
Eficacia (%)	<90 %
Necesidad de despolvado preliminar	No
Riesgos	Dstrucción de microorganismos
Residuos	Sí
Consumo (por tonelada de combustible residual producida)	
Electricidad (kWh)	15
Combustible/gas (kWh)	-
Combustible o biogás alternativo	
Reactante (kg)	Cortezas
Costes	
Costes de inversión (EUR/t de capacidad)	De 10 a 20
Costes operativos (EUR/t de combustible residual producido)	<1
Costes de mantenimiento (EUR/t de combustible residual producido)	<0,25

Tabla 4.57: Consumos y costes de los biofiltros
[122, Eucopro, 2003]

Motivo principal para su aplicación

Reducción de las emisiones de olores. Los gobiernos alemán y austriaco han fijado unos valores límite para las instalaciones de TMB correspondientes a las emisiones de olores con 500 GE/Nm³ y para los COV (Austria: 100 g/t de residuos tratados, Alemania: 55 g/t de residuos tratados). Además, estos sistemas no pueden alcanzar los valores límite de emisión de COT exigidos por algunos estándares alemanes (es decir, menos de 55 g de COT por tonelada de entrada de TMB y una concentración de COT inferior a 20 mg/Nm³).

Instalaciones de ejemplo

De uso generalizado en el sector. Aplicados en el tratamiento de gases de combustión procedentes de instalaciones con tratamiento biológico y del tratamiento físico-químico de las aguas residuales e inmovilización. También se utilizan habitualmente en otros sectores industriales, como el de productos químicos, hierro y acero, industrias alimentarias, así como instalaciones con tratamiento de aguas residuales. Existen muchos ejemplos del uso de biofiltros en la UE.

Bibliografía

[52, Ecodeco, 2002], [55, UK EA, 2001], [56, Babtie Group Ltd, 2002], [59, Hogg, et al., 2002], [66, GTT, 2003], [81, VDI y Dechema, 2002], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [132, UBA, 2003], [135, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [157, UBA, 2004]

4.6.11 Depuración

Descripción

Las técnicas de absorción suelen denominarse reactores. Algunas de las técnicas incluyen:

- la instalación de un sistema de reactores para las principales liberaciones gaseosas inorgánicas (Cl₂, ClCN, HCl, H₂S, NH₃, NO_x), compuestos orgánicos (como COV) y el olor procedentes de algunas operaciones unitarias de tratamiento de ciertos tipos de residuos (que contienen estos compuestos volátiles), con descarga de punto para las emisiones del proceso. En casos de emisiones muy variables, la instalación de un reactor secundario en determinados sistemas de pretratamiento puede ser una solución si la descarga es incompatible o está demasiado concentrada para los reactores principales;
- el empleo y mantenimiento correctos del equipo de reducción de emisiones volátiles, incluyendo la manipulación y eliminación del medio del reactor agotado.

Los pulverizadores de agua son un método de control de uso generalizado en las emisiones de partículas. La adición de productos químicos de control de polvo como polímeros o acrílicos al agua aumenta la eficacia de la pulverización.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce las emisiones al aire de COV, ácidos, amoníaco, partículas, etc. Aumenta la eficacia de la adsorción de contaminantes, debido al contacto partícula-gas (especialmente pertinente para la eliminación de gases ácidos por partículas básicas inyectadas en el reactor, si procede).

Efectos cruzados

Esta técnica genera efluentes líquidos y lodos que requieren tratamiento posterior.

Los reactores húmedos generan penachos de vapor. Las liberaciones procedentes de las ventilaciones de reactores húmedos necesitan estar lo suficientemente calientes para evitar la formación de gases de escape visibles en las proximidades de la ventilación, a fin de evitar la condensación o adsorción de sustancias ambientalmente tóxicas por el vapor de agua de condensación. Los gases de escape procedentes de un reactor húmedo pueden calentarse aplicando calor residual para elevar la temperatura de los gases de escape y evitar la condensación inmediata a su salida de la ventilación. Este procedimiento también contribuye al empuje aerostático térmico de los gases de escape.

Datos operativos

Normalmente se llevará a cabo cierto nivel de control del aire, bien en la descarga del reactor o en los límites de las instalaciones. La supervisión de los gases de salida de los sistemas del reactor/filtro suele ser espasmódica. La hipótesis es que los sistemas de reducción de emisiones volátiles son aptos para este propósito y reducen la emisión hasta una liberación de fondo aceptable. Los puntos de descarga pueden supervisarse con una periodicidad trimestral o mensual para controlar los gases ácidos que se prevé recoger.

Deberá disponerse de unas instalaciones de suministro de agua y de eliminación de efluentes. Entre las estipulaciones relativas a la supervisión, se incluyen las siguientes:

- pH, caudal y nivel de soluciones intravalvulares del reactor y caída de presión del reactor,
- supervisión de la caída de presión con alarmas,
- supervisión periódica de las concentraciones de salida bajo distintas condiciones operativas.

También debe existir un programa operativo para la sustitución regular del absorbente en las unidades de absorción.

Aplicabilidad

Esta técnica es adecuada para un flujo elevado y concentraciones bajas (por ejemplo: 1-200 mg/Nm³ de COV), corrientes de gas de baja temperatura y cuando el contaminante es químicamente reactivo (o soluble en el caso de contaminantes de COV).

Estas técnicas suelen aplicarse a emisiones en origen puntuales relativas a aquellos compuestos derivados de la recogida de gases de un recipiente o superficie y que se transmiten bien a través de la reducción de la contaminación o directamente a una chimenea o ventilación. Esta técnica puede emplearse para los tratamientos de efluentes gaseosos generados durante la carga de depósitos de almacenamiento.

Se aplican reactores ácidos para capturar las emisiones de amoníaco liberadas durante el tratamiento ácido en el rerrefinado de aceites usados. También se emplean reactores de aceite mineral para atrapar los COV y los olores en instalaciones de tratamiento de aceites usados.

Puede utilizarse hipoclorito o peróxido de hidrógeno en la depuración de cianuro y en el control de los olores. Podría emplearse un sistema de dos fases, como reactores alcalinos y oxidantes en

serie. Deberá disponerse de abastecimiento de agua y de eliminación de efluentes para el funcionamiento de estos sistemas, con un programa operativo para el cambio regular del absorbente en las unidades de absorción.

El permanganato de potasio alcalino o el hipoclorito pueden emplearse como oxidantes para el tratamiento de los compuestos de cianuro.

Aspectos económicos

En la tabla 4.58 se presenta un resumen de los costes de depuración correspondientes a los controles de emisiones de las fuentes superficiales aplicados a la excavación y retirada.

Técnica de control de emisiones	Coste de los materiales (USD/m ²)	Comentarios
Pulverización de agua	0,001 (varía)	Partiendo de la hipótesis de un coste de agua municipal de 1 USD/1000 litros. El agua exige una reaplicación constante. Alquiler de cisternas de agua: 500 USD/semana.
Aditivos:		Los costes varían con el uso químico
Agente tensioactivo	0,65	
Sal higroscópica	2,58	
Betún/adhesivos	0,02	

Tabla 4.58: Resumen de los costes correspondientes a los controles de emisiones de las fuentes superficiales aplicados a la excavación y retirada [30, Eklund, et al., 1997]

Instalaciones de ejemplo

Un uso común consiste en el tratamiento de aire extraído de la vasija del reactor con una solución intravalvular, normalmente, una solución cáustica. El proceso se aplica ampliamente a las instalaciones FQ (de depuración húmeda). Se utiliza a modo de pretratamiento, es decir, antes de los biofiltros, para el tratamiento de los gases de escape de las instalaciones con tratamiento biológico.

Los procesos de pretratamiento capaces de liberar gases tóxicos tienden a disponer de sus propios sistemas de depuración, siendo la ventilación del reactor la que conduce al punto principal del sistema de escape, y con el tratamiento de las soluciones intravalvulares acuosas en la instalación.

Todos los sistemas de oxidación analizados en el Reino Unido disponen de sus propios sistemas de reactores locales y los residuos de ambas soluciones de oxidación y del reactor se tratan en la instalación principal. En aquellos casos en que la instalación dispone de un sistema de escape total para la instalación, el escape de los reactores de oxidación suele canalizarse a través del sistema principal de depuración de la instalación antes de su descarga al aire.

La depuración cáustica se emplea para eliminar el sulfuro de hidrógeno en instalaciones con tratamiento de aceites usados.

Bibliografía

[30, Eklund, et al., 1997], [42, R.U., 1995], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

4.6.12 Depuración química

Descripción

El tratamiento químico de los gases de escape puede consistir en una depuración de una sola fase o multifase con reactores químicos. Hasta ahora, se han creado instalaciones de este tipo, por ejemplo, como limpiadores de materiales de transporte de una fase o multifase con valores de pH controlados en cada fase o con la adición de oxidantes.

Beneficios ambientales obtenidos

Los reactores de este tipo son idóneos para eliminar componentes individuales (como el amoníaco).

Efectos cruzados

Este reactor se necesario para la reducción de los compuestos de N antes del tratamiento posterior. Los reactores de aire de escape multifase (ácido-alcalino, o la depuración con H₂O₂, sólo pueden reducir la concentración de determinados componentes (como COV) debido a las elevadas concentraciones de gases sin refinar generadas especialmente con tratamientos de recirculación.

Aplicabilidad

Una técnica vanguardista en los centros de tratamiento biológico (TMB) consiste en una combinación de reactores ácidos y tratamiento regenerativo térmico de gases de escape. La liberación del aire de escape tratado se efectúa a través de una chimenea.

Motivo principal para su aplicación

Existen datos de que única y exclusivamente con estos sistemas no es posible alcanzar las concentraciones de gases de depuración requeridas por la normativa alemana.

Instalaciones de ejemplo

Actualmente no se dispone de información sobre el uso de esta técnica a modo de etapa de tratamiento independiente en las instalaciones de tratamiento biológico (TMB). Toda la información incluida en este apartado corresponde a experiencias obtenidas en otros tipos de instalaciones.

Bibliografía

[132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.6.13 Procesos oxidativos bajos

Descripción

Entre los procesos oxidativos bajos normalmente utilizados se incluyen la ionización y los procesos UV, basados en el principio de que, en ocasiones, la adsorción de un único radical O o radical OH puede reducir de forma significativa las propiedades aromáticas de una sustancia.

Beneficios ambientales obtenidos

El efecto de los procesos oxidativos bajos es muy específico del grupo de sustancias y puede verse considerablemente agravado por la presencia de determinados gases nocivos (como la formación de aminas en presencia de amoníaco).

Efectos cruzados

Este tratamiento, sin embargo, no lleva a una descomposición significativa del carbono orgánicamente unido. Según las experiencias obtenidas hasta el momento, suele producirse únicamente oxidación parcial sin descomposición del anillo de hidrocarburos aromáticos. El estírol puede polimerizarse y el metano sólo se reduce ligeramente.

Datos operativos

La demanda específica de energía suele ser inferior a 1 kW/1000 Nm³ de aire.

Aplicabilidad

Estos procesos se utilizan con frecuencia para la neutralización de olores en diferentes áreas.

Instalaciones de ejemplo

Se utiliza en instalaciones con tratamiento biológico, no obstante, no se dispone de experiencia operativa al respecto.

Bibliografía

[132, UBA, 2003]

4.6.14 Incineración

Descripción

En la descontaminación del aire de escape térmico, éste se trata en una cámara de combustión a temperaturas máximas de 850 °C y durante un tiempo de residencia mínimo de 2 segundos. Dentro de este lapso de tiempo, las sustancias tóxicas estarán totalmente oxidadas y el gas refinado podrá liberarse al aire.

En instalaciones con tratamiento biológico, la incineración puede diferenciarse en poscombustión, con o sin recuperación de calor. Del mismo modo que sucede con la poscombustión térmica, los hidratos de carbono se oxidan a dióxido de carbono y agua en una cámara de combustión.

Beneficios ambientales obtenidos

Se utiliza para el control del COV y normalmente requerirá la incorporación de combustible adicional como soporte al proceso de combustión. El operador puede compensar el coste del combustible adicional cuando existe un requerimiento en cualquier otro punto de la instalación para el calor residual generado. Pueden alcanzarse valores inferiores a 50 g de COV por tonelada de residuos con esta técnica.

En instalaciones con tratamiento biológico, mediante el empleo de intercambiadores térmicos especiales, puede obtenerse una recuperación de calor cualitativa de hasta el 98 %. Estas elevadas tasas de recuperación térmica se basan en el uso de intercambiadores térmicos de cerámica especiales, que combinan una masa elevada y una gran superficie de un modo ideal.

Datos operativos

Normalmente requiere la incorporación de combustible adicional como soporte al proceso de combustión. El caudal es de 1500 Nm³/h y la temperatura operativa es de 1050-1200 °C. La especificación de 850 °C, con 2 segundos de tiempo de residencia, puede justificarse en la incineración de residuos cuando una instalación de tratamiento de gases de combustión completa alcanza la eliminación total de los contaminantes residuales. Las condiciones de combustión son más extremas (es decir, 1100 °C con 2 segundos de tiempo de residencia) para la destrucción total de algunos componentes olorosos y COV, así como para la destrucción de dioxinas y precursores de la dioxina.

En la tabla 4.59 se presentan los requerimientos energéticos de incineración para diferentes concentraciones de hidrocarburos en el gas

Parámetro				
Concentración de hidrocarburos en el gas (g/Nm ³)	0,5	1,5	3	6
Incineración	9	8	6,2	3,2
Energía térmica en kWh requerida para el tratamiento de 100 Nm ³ /h de gas contaminado con COV				
Los flujos tratados oscilan entre 500 Nm ³ /h y 11.000 Nm ³ /h				

Tabla 4.59: Requerimientos energéticos de incineración relativos a diferentes concentraciones de hidrocarburos en el gas

[30, Eklund, et al., 1997]

Aplicabilidad

No existen límites para su aplicación.

Aspectos económicos

En las siguientes dos tablas, (tabla 4.60 y tabla 4.61), se reproducen los datos de costes relativos a la incineración.

Tratamiento	Flujo máximo (Nm ³ /h)	Coste de capital (USD)
Incineración	110	13.000 ¹
	160	25.000 ¹
	915	44.000 ¹
Motor de combustión interna	96	62.000
	160	50.000

¹ El coste incluye: soplante, válvulas de muestreo y controles. Se excluyen los sistemas de recuperación de calor.

Tabla 4.60: Costes de capital relativos al control de emisiones de COV procedentes de los sistemas de extracción de ventilación del suelo [30, Eklund, et al., 1997]

Coste de capital (GBP)	Coste operativo (GBP)
30.000	3000
Incineración de 2,5 kg de fuelóleo/hora @ GBP 0,13 p/litro Capacidad: 10.000 t/año Tipos de aceite: aceites lubricantes usados Operación del proceso: lote Flujo de gases residuales: 0-50 Nm ³ /hora Antigüedad de la instalación: 10 años Antigüedad del equipo de control de la contaminación: 2 años	

Tabla 4.61: Coste del control de liberaciones de aire procedentes de una instalación de reciclaje de aceite típica con incineración [42, R.U., 1995]

En las instalaciones con tratamiento biológico, la rentabilidad de la operación se determina por el tamaño del flujo de volumen a tratar y por las concentraciones de contaminantes. Las condiciones ideales son el funcionamiento autotérmico, donde la cantidad de energía liberada por la combustión de los contaminantes se corresponde exactamente a la demanda energética para el mantenimiento de la temperatura de combustión. La energía calorífica necesaria, en este caso, puede obtenerse íntegramente a partir de la combustión de los hidratos de carbono. Esta demanda energética depende directamente del grado de recuperación térmica. Las concentraciones de contaminantes son bajas, haciendo necesario el suministro térmico, con la consiguiente generación de unos costes operativos elevados.

Motivo principal para su aplicación

Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos.

Instalaciones de ejemplo

Al menos dos instalaciones de tratamiento de aceites usados utilizan este sistema. Se emplea en instalaciones con tratamiento biológico.

Bibliografía

[30, Eklund, et al., 1997], [42, R.U., 1995], [66, GTT, 2003], [86, GTT, 2003], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.6.15 Combustión combinada

Descripción

En algunas instalaciones donde se produce combustión, es posible inyectar aire contaminado recogido en el taller directamente en el circuito de aire secundario del quemador o en el aire primario que se introduce en el quemador. Esto podría requerir una adaptación específica del proceso de combustión (modificación de la depuración de gas y estabilidad de la combustión).

Beneficios ambientales obtenidos

- sinergia con las instalaciones de combustión existentes,
- permite una valorización energética de la ignición de los COV en la combustión.

En la tabla 4.62 se presentan los datos de eliminación de COV con el empleo de combustión combinada.

Características	Valor
Intervalo de flujo de entrada (Nm ³ /h)	<50.000
Concentración de COV de entrada (g/Nm ³)	~ 3 < límite de explosión de los compuestos
Concentración de COV de salida (mg/Nm ³)	10-50
Necesidad de despolvado preliminar	no
Residuos	no
Consumo (por tonelada producida de combustible residual)	
Electricidad (kWh)	*
Combustible/gas (kWh)	*
Costes	
Coste de inversión (EUR/t de capacidad)	*
Costes operativos (EUR/t de combustible residual producido)	*
Costes de mantenimiento (EUR/t de combustible residual producido)	*
*depende de cada caso	

Tabla 4.62: Eliminación de COV con el empleo de combustión combinada [122, Eucopro, 2003]

Efectos cruzados

- no disponible durante el mantenimiento del quemador,
- deberá instalarse una instrumentación y válvulas específicas para evitar el «efecto dominó» entre cada proceso,
- fluctuaciones en la calidad o cantidad del COV podrían producir problemas en el sistema de combustión.

Aplicabilidad

Necesita la dilución previa con aire cuando puede alcanzarse una concentración explosiva.

Aspectos económicos

Los costes de adaptación pueden ser elevados. El operador puede compensar el coste del combustible adicional cuando existe un requerimiento en cualquier otro punto de la instalación para el calor residual generado.

Motivo principal para su aplicación

Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos.

Instalaciones de ejemplo

Utilizadas para la preparación de combustible residual procedente de residuos peligrosos y del blanqueo de aceites usados.

Bibliografía

[30, Eklund, et al., 1997], [42, R.U., 1995], [66, GTT, 2003], [86, GTT, 2003], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

4.6.16 Combustión catalítica

Descripción

El aire contaminado se quema aunque, con esta técnica, la temperatura de combustión se reduce mediante el uso de un catalizador, que posee la misma eficacia destructora del COV, pero a una temperatura inferior.

En las instalaciones con tratamiento biológico, puede utilizarse combustión catalítica para eliminar el COT de los gases de escape. Los contaminantes se oxidan a temperaturas comprendidas entre 200 y 500 °C mediante catalizadores de metales nobles o de óxido metálico.

Beneficios ambientales obtenidos

- bajo consumo de combustible,
- destrucción completa de los COV,
- eficacias que oscilan entre 95 % y 99,9 %,
- se pueden lograr unas concentraciones de salida de 5-50 mg de C/Nm³. El intervalo real depende del tipo de compuesto y de la concentración de entrada.

En la tabla 4.63 se reproducen los datos de eliminación de COV con el empleo de combustión catalítica.

Características	Valor
Intervalo de flujo de entrada (Nm ³ /h)	20.000-50.000
Concentración de COV de entrada (g/Nm ³)	1-3
Concentración de COV de salida (mg/Nm ³)	10-50
Necesidad de despolvado preliminar	Sí
Riesgos	Intoxicación por catalizadores
Residuos	no
Consumo (por tonelada producida de combustible residual)	
Electricidad (kWh)	25-75
Combustible/gas (kWh)	70-140
Reactante (kg)	Catalizador
Costes	
Costes de inversión (EUR/t de capacidad)	20-30
Costes operativos (EUR/tonelada de combustible residual producido)	
Electricidad	1-3
Combustible/gas	1-2
Costes de mantenimiento (EUR/t de combustible residual producido)	<1

Tabla 4.63: Eliminación de COV mediante combustión catalítica
[122, Eucopro, 2003]

En instalaciones con tratamiento biológico, pueden obtenerse eficacias de purificación superiores al 99 %.

Efectos cruzados

El catalizador es sensible a ciertos compuestos (metálicos y orgánicos, por ejemplo) y su acumulación es susceptible de reducir progresivamente su eficacia.

En instalaciones con tratamiento biológico, entre las sustancias tóxicas se cuentan las toxinas de los catalizadores, como los compuestos organometálicos, los compuestos de silicio orgánico y los compuestos de arsénico. El tratamiento de compuestos halogenados, compuestos de azufre orgánico y compuestos de nitrógeno orgánico sólo es posible hasta un grado limitado. El metano puede reducirse catalíticamente a CO₂ sólo en ciertas condiciones. Son necesarias unas temperaturas elevadas superiores a 600 °C para la oxidación catalítica del metano. El uso energético de un tratamiento térmico sin recuperación de calor es muy alto. La oxidación catalítico-térmica en tratamiento biológico (TMB), por tanto, es cuestionable tanto desde un punto de vista económico como ambiental.

Datos operativos

- necesita pretratamiento de gas en algunos casos (como PE, filtros de mangas y reactor de gas),
- precisa la dilución previa con aire cuando se alcanzan concentraciones explosivas,
- el consumo energético es inferior al de la incineración.

En la tabla 4.64 se indican los requerimientos energéticos de la combustión catalítica para diferentes concentraciones de hidrocarburos en el gas.

Parámetro				
Concentración de hidrocarburos en el gas (g/Nm ³)	0,5	1,5	3	6
Combustión catalítica	2	1,2	0	0
Energía térmica en kWh requerida para el tratamiento de 100 Nm ³ /h de gas contaminado con COV. Los flujos que han sido tratados oscilan entre 500 Nm ³ /h y 11.000 Nm ³ /h				

Tabla 4.64: Requisitos energéticos con combustión catalítica para diferentes concentraciones de hidrocarburos en el gas [122, Eucopro, 2003]

En instalaciones con tratamiento biológico, la vida operativa de dichos catalizadores puede ser superior a 30.000 horas operativas, en función de la temperatura de funcionamiento y de las sustancias nocivas del gas de proceso.

Aplicabilidad

Dados los numerosos factores de interferencia, la aplicabilidad práctica de la oxidación catalítica en instalaciones con tratamiento biológico parece problemática. Además, no se dispone de experiencia operativa procedente de centros de tratamiento biológico (TMB).

Aspectos económicos

El coste de la inversión es relativamente elevado. En la tabla 4.65 se indican los costes de capital para el control de emisiones de COV procedentes de los sistemas de extracción de ventilación del suelo.

Tratamiento	Flujo máximo (Nm ³ /h)	Coste de capital (USD)
Motor de combustión interna	96	62.000
	160	50.000
Oxidación catalítica	160	25.000 ^a
	320	31.000-69.000 ^a
	800	44.000-86.000 ^a
	1600	77.000 ^b
	8000	140.000
^a Incluye: quemador, soplante, apagallamas, calibradores, filtros, separador líquido/gas, puerto de muestreo, controles y montaje de la corredera		
^b Sistema de dilución disponibles por 22.000 USD adicionales.		

Tabla 4.65: Costes de capital para el control de emisiones de COV procedentes de los sistemas de extracción de ventilación del suelo [30, Eklund, et al., 1997]

Motivo principal para su aplicación

Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos.

Bibliografía

[30, Eklund, et al., 1997], [42, R.U., 1995], [66, GTT, 2003], [86, GTT, 2003], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.6.17 Oxidante catalítico regenerativo

Descripción

Los COV se incineran en cámaras de combustión a una temperatura comprendida entre 750 y 950 °C. La energía producida por la combustión de los COV se utiliza para precalentar el aire contaminado sobre el lecho cerámico antes de la combustión. La temperatura de combustión puede adaptarse según la concentración de COV. El aire de proceso contaminado se calienta a la temperatura de reacción necesaria mediante un sistema de calentamiento y después se dispone sobre un catalizador combinado y un reactor de lecho de acumulación térmica. En este reactor, el aire de proceso se descompone a CO₂ y agua. El calor de este reactor se dirige después sobre un segundo reactor de lecho combinado, donde se acumula. Una vez calentado el lecho del acumulador de este reactor, la corriente de aire del proceso se conmuta para entrar en el segundo reactor. A continuación, el calor del segundo reactor se utiliza para precalentar el aire del proceso, mientras tiene lugar la oxidación de contaminante en el primer reactor. Durante la operación posterior, la unidad se conmuta cíclicamente entre las dos fases antes descritas.

Beneficios ambientales obtenidos

- alto índice de destrucción de COV (>99%),
- uso reducido de combustible fósil o combustible residual (alta eficacia energética),
- a concentraciones elevadas de COV (>3 g de COT/Nm³), es posible operar en una zona autotérmica, lo que significa que se precisa la adición de una cantidad mínima de energía externa para mantener la reacción.

En la tabla 4.66 se muestran los datos de eliminación de COV con el empleo de oxidación catalítica regenerativa.

Características	Valor
Intervalo de flujo de entrada (Nm ³ /h)	20.000 – 80.000
Concentración de COV de entrada (g/Nm ³)	2-4 con picos máximos de 10
Concentración de COV de salida (mg/Nm ³)	15-50
Eficacia (%)	>99%
Necesidad de despolvado preliminar	Sí
Riesgos	
Residuos	No
Consumo (por tonelada producida de combustible residual)	
Electricidad (kWh)	10-50
Combustible/gas (kWh)	50-200*
Combustible o biogás alternativo	Sí
Reactante (kg)	-
Costes	
Costes de inversión (EUR/t de capacidad)	10-25
Costes operativos (EUR/t de combustible residual producido)	
Electricidad	1-3
Combustible/gas	2-6
Costes de mantenimiento (EUR/t de combustible residual producido)	<1
*según la concentración de COV	

Tabla 4.66: Eliminación de COV con el empleo de oxidación catalítica regenerativa [122, Eucopro, 2003]

Efectos cruzados

Elevado consumo energético si sólo existe una baja concentración de COV.

Datos operativos

- acepta fluctuaciones de concentraciones de COV,
- precisa la dilución previa con aire cuando puede alcanzarse una concentración explosiva,
- necesita despolvado cuando la entrada de concentración de polvo es superior a 20 mg/Nm³.

En la tabla 4.67 se presentan los requerimientos energéticos de la oxidación catalítica regenerativa para diferentes concentraciones de hidrocarburos en el gas.

Parámetro				
Concentración de hidrocarburos en el gas (g/Nm ³)	0,5	1,5	3	6
Oxidación catalítica regenerativa	0	0	0	0
Energía térmica en kWh requerida para el tratamiento de 100 Nm ³ /h de gas contaminado con COV. Los flujos que han sido tratados oscilan entre 500 Nm ³ /h y 11.000 Nm ³ /h				

Tabla 4.67: Requerimientos energéticos con oxidación catalítica regenerativa para diferentes concentraciones de hidrocarburos en el gas [122, Eucopro, 2003]

Aplicabilidad

Está diseñado para concentraciones de COV de bajas a medias debido a sus bajos costes energéticos.

Aspectos económicos

Bajos costes operativos y elevado coste de inversión.

Motivo principal para su aplicación

Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos.

Bibliografía

[30, Eklund, et al., 1997], [42, R.U., 1995], [66, GTT, 2003], [86, GTT, 2003], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

4.6.18 Oxidante térmico regenerativo

Descripción

El objetivo de un oxidante térmico regenerativo es la recuperación permanente y de alta calidad de gran parte de la energía calorífica que es necesaria para el calentamiento de la corriente de gases residuales a las temperaturas de oxidación requeridas para el tratamiento.

Esta energía calorífica se almacena en intercambiadores térmicos de flujo. Estos intercambiadores térmicos consisten en un material de relleno cerámico o bien son intercambiadores térmicos de aleta. El rendimiento de este proceso recuperativo viene expresado por el grado de recuperación de calor alcanzado, que se define del modo siguiente:

$$\text{Rendimiento} = 1 - \frac{T_{\text{gas depurado}} - T_{\text{gas sin refinar}}}{T_{\text{cámara de combustión}}} \quad T = \text{temperatura}$$

El aire de escape entrante se calienta en el lecho del intercambiador térmico «caliente». El aire se calienta hasta una temperatura algunos grados inferior a la de la cámara de combustión, en función de la capacidad de almacenamiento térmico. En la cámara de combustión, se produce

oxidación. En el caso de bajas concentraciones de contaminantes en el aire de proceso, la energía que falta deberá aportarse a través de fuentes de energía primaria. Tras su paso a través de la cámara de combustión, el gas de escape, que ahora está a la temperatura de reacción, desprende su calor en un lecho del intercambiador térmico «frío».

Debido a la elevada demanda energética para el calentamiento del gas de escape y gracias al intercambio térmico óptimo, la mayor parte del calor almacenado en el lecho del intercambiador térmico «caliente» se desprende al gas de escape después de aproximadamente 120 segundos. Y a la inversa, el gas de escape caliente calienta el lecho del intercambiador térmico «frío».

Beneficios ambientales obtenidos

Los índices de recuperación de calor obtenidos oscilan entre 90 % y 98 % en función del contenido de contaminantes del gas de escape. Un suministro energético adicional, en este caso, no es necesario. Con respecto a los valores requeridos para el gas depurado, los sistemas actualmente disponibles en el mercado difieren en el método técnico utilizado para garantizar los valores más bajos de gases de lavado, lo que resulta necesario porque en el punto de inversión de corriente, los restos de gas sin refinar pueden contaminar el gas depurado. Los sistemas optimizados con respecto a este problema pueden alcanzar unas concentraciones de gases depurados inferiores a 10 mg/Nm³.

Datos operativos

Para mantener el funcionamiento permanente, la dirección de la corriente debe controlarse de tal modo que el lecho del intercambiador térmico, al ser calentado durante un tiempo dado, pueda utilizarse para el calentamiento de los gases residuales, lo que permite un calentamiento y un enfriamiento alternos de los lechos respectivos del intercambiador térmico.

Para el diseño de la instalación, es asimismo fundamental la cantidad de la entalpía químicamente unida en los contaminantes que se oxidarán. La operación es autotérmica si la suma del calor almacenado en los lechos del intercambiador térmico y la entalpía de reacción liberada es suficiente para mantener la temperatura necesaria en la cámara de combustión.

Si la entalpía unida a los contaminantes no es suficiente para alcanzar la temperatura de oxidación, ésta deberá alcanzarse y garantizarse con el uso de una fuente de energía externa. Algunos proveedores individuales lo llevan a cabo mediante la instalación de quemadores controlados en la cámara de combustión, otros enriquecen el gas de escape con los combustibles adicionales de forma que el sistema pueda mantenerse en condiciones autotérmicas. En este caso, la instalación puede operarse sin llama. En centros de energía optimizada, cabe prever un consumo energético de 8 kWh de salida de calor por 1000 Nm³ de gases residuales.

En el período de inicio hasta alcanzar la temperatura operativa y durante el funcionamiento con bajas concentraciones de sustancias orgánicas (<2 g de C/Nm³), se precisa una fuente de energía externa debido al almacenamiento energético todavía insuficiente de los lechos del intercambiador térmico. En la fase inicial de sistemas sin llama suele utilizarse calentamiento eléctrico, de lo contrario la energía térmica puede ser aportada por quemadores de gas natural o de gas propano.

Para el funcionamiento con combustibles residuales gaseosos como el gas de vertedero o biogás, deberá tenerse en cuenta que estos gases pueden estar contaminados. Para iniciar una operación que todavía no ha alcanzado las temperaturas requeridas de la cámara de combustión, estos gases no deberían utilizarse. Esto sólo puede realizarse con combustibles convencionales como el gas natural o el gas propano. Además, deberá garantizarse en la cadena de seguridad que en el caso de producirse cualquier interrupción de servicio y la consiguiente disminución de temperatura en la cámara de combustión, se regula el suministro de combustibles residuales y, por lo tanto, siempre está disponible.

Aplicabilidad

En el contexto de los proyectos de investigación y para el funcionamiento de la instalación, las combinaciones de reactores ácidos y oxidantes térmicos regenerativos han demostrado ser valiosas. Esta combinación de procesos presenta ventajas desde la perspectiva de capacidad de limpieza, así como desde la perspectiva de los costes operativos.

Instalaciones de ejemplo

En la práctica, existen varios diseños diferentes de oxidantes térmicos regenerativos, que difieren principalmente en el diseño de los lechos del intercambiador térmico individual y en la selección del material del intercambiador térmico. Para bajas concentraciones, ha proliferado el uso de estos procesos en poscombustión con recuperación de calor.

Los oxidantes térmicos regenerativos se vienen utilizando en Alemania durante varios años para la purificación del gas de escape de las instalaciones de tratamiento biológico (TMB). En Austria, también se ha instalado recientemente una instalación de TMB y se ha iniciado la operación de estos tipos de sistemas.

Bibliografía

[132, UBA, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.6.19 Tratamientos oxidativos

El tipo de tratamiento oxidativo utilizado en las dos tablas siguientes (tabla 4.68 y 4.69) no se ha especificado. Podría tratarse de cualquiera de las cuatro técnicas descritas en los apartados 4.6.14 a 4.6.17. En estas tablas se reproducen los datos de emisiones al aire posteriores al tratamiento.

Parámetro de emisión al aire	Valor	Unidades
Temperatura del gas	140	°C
Partículas	10-27	mg/Nm ³
Metales pesados	0,03	mg/Nm ³
COT	8	mg/Nm ³
SO _x	10	mg/Nm ³
NO _x	350	mg/Nm ³
HCl	2,3-10	mg/Nm ³
HF	<0,1	mg/Nm ³
HBr	<0,1	mg/Nm ³
HCN	<0,1	mg/Nm ³
P	0,019	mg/Nm ³
CO ₂ /(CO+CO ₂)	<1	mg/Nm ³
CO ₂	9,5	%
CO	50	mg/Nm ³
HAP	<0,1	ng/Nm ³
PCDD + PCDF	<0,01	ng/Nm ³
TCDD + TCDF	<0,01	ng/Nm ³
PCB + PCN + PCT	<1	ng/Nm ³
Los valores se refieren al 10% de O ₂ en los gases		

Tabla 4.68: Emisiones al aire procedentes de instalaciones de destrucción térmica de efluentes gaseosos relativas a varias instalaciones de tratamiento de aceites usados
[42, R.U., 1995], [66, GTT, 2003], [86, GTT, 2003]

Parámetro del aire	Unidades	Corrientes de entrada		Salida
		Efluentes gaseosos de las instalaciones de proceso	Efluentes gaseosos de inertización con gas de depósitos	
Flujo	Nm ³ /h	101	1400	2700 ¹
Temperatura	°C	18	27	146
Polvo	mg/Nm ³	58,6	1,1	28,4
H ₂ S	mg/Nm ³	101.600	<1	<0,1
Mercaptanos	mg/Nm ³	2153	1,7	0,7
SO _x	mg/Nm ³	30.000	1,3	3
HCl	mg/Nm ³	308	0,9	0,8
COV	mg/Nm ³			3
NO _x	mg/Nm ³			181
HAP	mg/Nm ³			<0,1

¹Inclusión del aire de combustión

Tabla 4.69: Tratamiento térmico de corrientes contaminadas [66, GTT, 2003]

4.6.20 Tratamiento de plasma no térmico

Descripción

La técnica de plasma no térmica es uno de los procesos más oxidantes. Se trata de un proceso físico que activa las moléculas en un campo eléctrico cambiante y, así, facilita el ataque con una reacción de radicales. El plasma no térmico denota un estado de átomos y moléculas que se activan mediante campos eléctricos y que, de este modo, están sujetos a la disipación de los electrones o a una conmutación de la carga eléctrica a órbitas energéticamente más ricas, por lo que pueden alcanzarse unos potenciales energéticos con un nivel correspondiente a temperaturas máximas equivalentes de 100.000 °C de plasma activado térmico.

Beneficios ambientales obtenidos

El carbono orgánicamente unido puede degradarse hasta un nivel elevado. La ventaja del plasma no térmico es que con unas potencias de campo suficientemente elevadas y un suministro energético preciso, las dosis son susceptibles de causar una reacción en fracciones de segundo. Se producen las cantidades así incrementadas de diferentes radicales que, por su elevada capacidad oxidante, pueden atacar a las moléculas orgánicas y descomponer los compuestos.

Efectos cruzados

Debido a la reacción de radicales en el reactor, se libera ozono a ritmos de varios gramos por hora. El concepto de instalación, por consiguiente, deberá garantizar la eliminación de este ozono. Para este metal especial, resultan adecuados un catalizador o el carbón activo. Si se opta por el catalizador, deberá garantizarse que no se produzcan emisiones secundarias de olores procedentes de los procesos catalíticos inacabados. Deberá tenerse en cuenta asimismo el peligro de autoignición del carbón activo en las reacciones con ozono, así como la producción de N₂O a un mayor nivel.

Instalaciones de ejemplo

Se utiliza en instalaciones con tratamiento biológico, aunque se carece de experiencia operativa al respecto.

Bibliografía

[132, UBA, 2003]

4.6.21 Técnicas de reducción de las emisiones de NO_x

Descripción

Puede ampliarse información en el BREF sobre tratamiento común de aguas residuales y gases residuales (CWW) y en el BREF sobre incineración de residuos. Algunas de las técnicas aplicables incluyen:

- a. un buen control del proceso, capaz de evitar la emisión real de NO_x,
- b. un buen diseño de la cámara de combustión,
- c. quemadores de bajo NO_x,
- d. RCS,
- e. RNCS,
- f. recirculación interna de gases de combustión,
- g. combustión oscilante,
- h. depuración química (véase el apartado 4.6.12).

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce las emisiones de NO_x al aire.

Efectos cruzados

La inyección de amoníaco o urea en los gases de combustión con el uso de una corriente de RCS o RNCS induce el riesgo de formación de NO_x, contrariamente a la inducción de su eliminación, si la temperatura es demasiado alta y con presencia excesiva de oxígeno.

Aplicabilidad

Base para la cota de referencia	Actividad
Control racional del proceso para evitar la emisión de NO _x	Tratamiento de ácidos residuales
Con un buen diseño de cámara de combustión	Instalación de combustión
Empleo de quemadores con bajo NO _x	Instalaciones de combustión

Aspectos económicos

Las técnicas de RCS y RNCS conllevan unos costes operativos superiores a los de otras técnicas como el buen control de procesos y los quemadores con bajo NO_x.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004]

4.6.22 Técnicas de reducción de olores

Más información en el apartado 4.6.23.

Descripción

En el diseño e implantación de un plan de gestión de olores estructurado, éste deberá:

- g. describir las actividades principales que generan olores o las fuentes de los olores, abarcando asimismo cualquier estudio ambiental pertinente que se haya realizado y las opciones técnicas disponibles para el control de las emisiones de olores;
- h. iniciar o desarrollar un inventario adicional de los materiales responsables de las emisiones de olores utilizados o generados, que también incluya todos los puntos de liberación intencionados y fugitivos (no intencionados);
- i. detallar cualquier supervisión sistemática llevada a cabo para evaluar la exposición de los receptores a las emisiones de olores;
- j. proporcionar un sistema de información de los resultados del control y de registro de cualquier reclamación recibida;

- k. identificar las acciones necesarias a emprender en el supuesto de que se produzcan acontecimientos anómalos o condiciones susceptibles de producir problemas, tanto reales como posibles, relativos a emisiones de olores;
- l. cubrir los requisitos de mantenimiento de la contención y la gestión de las operaciones allí donde puedan estar contenidos los olores, como por ejemplo, en el interior de edificios;
- m. hacer hincapié en la investigación previa a la aceptación (véase el apartado 4.1.1.2) y sobre el rechazo de residuos específicos. Por ejemplo, y especialmente con respecto a los materiales responsables de emisiones de olores, éstos deberán ser manipulados en áreas herméticas específicas que incorporen extracción al equipo de reducción de emisiones;
- n. tener en cuenta las soluciones intravalvulares del reactor para garantizar asimismo su estrecha monitorización y asegurar un rendimiento óptimo, en relación, por ejemplo, con el pH correcto, el relleno puntual y su sustitución;
- o. cumplir los requisitos de extracción al vacío de instalaciones causantes de olores;
- p. cumplir los requisitos de estanqueidad en zonas de edificios donde las emisiones de COV sean elevadas y puedan provocar cuantiosas emisiones de olores.

Beneficios ambientales obtenidos

Evita las emisiones de aquellas liberaciones de olores que puedan resultar ofensivas y detectables más allá de los límites del emplazamiento.

Aplicabilidad

En el caso de instalaciones complejas, por ejemplo en las que exista una serie de fuentes potenciales de liberaciones de olores o donde se esté instaurando un programa exhaustivo de mejoras destinadas al control de los olores, suele llevarse un plan de gestión de olores.

Bibliografía

[50, Scori, 2002], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [81, VDI y Dechema, 2002], [86, GTT, 2003], [116, Irish EPA, 2003], [120, Prantner, 2002]

4.6.23 Gestión de olores en instalaciones con tratamiento biológico

Más información en el apartado 4.6.22.

Descripción

Una gestión operativa eficaz puede ayudar a controlar la formación de olores e incluye los puntos siguientes:

- a. el procesamiento de la materia prima entrante a la mayor brevedad;
- b. la verificación de la estabilización adecuada de la biomasa dentro del tiempo de retención en edificios cerrados, al objeto de garantizar la presencia únicamente de materiales inodoros en la fase de remediación abierta;
- c. la evitación de una etapa de refinamiento preliminar que reduzca el tamaño de partícula hasta al momento, lo que evitaría la difusión de aire a través del material que todavía está pendiente de finalizar su transformación bioquímica (un tamaño de partícula inferior podría dar lugar a la pérdida de estructura de la digestión aerobia y a la más probable producción de descomposición anaerobia);
- d. el impedimento de la formación de charcos de fugas (garantizando, por ejemplo, las pendientes adecuadas de las superficies de firme);
- e. la evitación del apilamiento externo de desechos gruesos procedentes de las etapas de tamizado previas al proceso, ya que éstos también contendrían determinado porcentaje de materiales fermentables;
- f. la extracción del aire de escape de las secciones responsables de la emisión de olores del proceso (apilado/vertido de residuos, almacenamiento en búnker profundos de materiales fermentables de entrada, pretratamiento, etapas preliminares del proceso. En ocasiones también puede incluirse la sección de remediación y el aire de escape tratado);
- g. el diseño del sistema de retirada para evitar cualquier pérdida de aire de escape de ventanas, puertas, etc.

- h. el equipamiento de las instalaciones con sistemas de reducción de emisiones debidamente dimensionados;
- i. la garantía de que se lleve a cabo el mantenimiento adecuado de tecnologías de reducción de emisiones de olores;
- j. el uso de reactivos tensioactivos;
- k. el suministro de la recogida de aguas lixiviadas cerradas/depósito(s) de almacenamiento, para minimizar las emisiones de olores con el mantenimiento simultáneo del líquido intravalvular antes de la recirculación o eliminación ex situ;
- l. un proceso de tratamiento de las aguas lixiviadas almacenadas, como la aireación, para evitar que se produzcan unas condiciones sépticas causantes de olores;
- m. el aporte de una reducción de emisiones de olores para controlar las emisiones procedentes de fuentes concretas como los atomizadores enmascaradores de olores;
- n. el diseño de los edificios cerrados de tal modo que exista una presión de aire negativa para evitar las emisiones de olores procedentes de las puertas.

Beneficios ambientales obtenidos

Evita o disminuye las emisiones de olores.

Efectos cruzados

El uso de reactivos tensioactivos no eliminará por completo los olores, especialmente si la elección del reactivo se basa en una caracterización de los compuestos en el aerosol causante de olores.

Datos operativos

Al aplicar la técnica «n» (véase el apartado Descripción anterior), el flujo de aire necesario para mantener una presión de aire negativa, a veces se expresa en horas necesarias para el intercambio de aire del interior del edificio. Cuanto mayor es este valor, mayores concentraciones de olores se alcanzan en su interior.

Aplicabilidad

Aparte de la prevención, a menudo las instalaciones aerobias deben hacer frente a cuestiones relacionadas con los olores a través del tratamiento del aire de escape, sobre todo cuando cuentan con unas capacidades elevadas o implican proximidad a viviendas.

Instalaciones de ejemplo

Un buen número de instalaciones en toda Europa emplean actualmente tecnologías que contribuyen en el desarrollo de las actividades de digestión aerobia, incluso en las zonas más pobladas, siempre y cuando el diseño y la gestión de la instalación tengan en consideración debidamente los problemas relacionados con los olores.

Bibliografía

[59, Hogg, et al., 2002], [116, Irish EPA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.6.24 Ejemplos de tratamiento de gases residuales aplicados a diferentes tratamientos de residuos

En la tabla 4.70 se indican algunos ejemplos de aplicaciones de tratamientos de gases residuales en distintos procesos de tratamiento de residuos. Por regla general, el tipo de reducción de emisiones de gases residuales aplicable en cada caso concreto consiste en una combinación de técnicas, algunas de las cuales puede que no se mencionen en los ejemplos que figuran a continuación, en el apartado 4.6.25.

Actividad/proceso de tratamiento de residuos	Técnica aplicada
Desorción térmica	Condensadores Incineración Adsorción de carbono Ciclones Reactores Venturi Filtros de tela Filtros HEPA Reactores húmedos Reactores secos
Extracción de vapor del suelo excavado	Adsorción de carbono Incineración catalítica Incineración Motores de combustión interna
Biorremediación ex situ	Adsorción de carbono
Lavado del suelo	Adsorción de carbono
Extracción de disolvente	Incineración
Bioventilación	Carbón activo Oxidación catalítica Motores de combustión interna Biofiltros
Tratamiento físico-químico de aguas residuales	Reactores húmedos Evaporación Destilación con arrastre
Preparación del combustible residual	Extracción Condensadores Adsorción de carbono Biofiltros Oxidación térmica Incineración Depuración
Estabilización	Absorción Adsorción Filtros de tela Oxidación térmica Ciclones
Tratamiento de aceites usados	Condensación Oxidación térmica Oxidación biológica
Molienda y trituración de bidones	Adsorción Absorción Oxidación térmica

Tabla 4.70: Aplicabilidad de los tratamientos de gases residuales
[30, Eklund, et al., 1997], [55, UK EA, 2001], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [135, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.6.25 Ejemplos de tratamiento combinado de aire de escape

En este apartado se incluyen algunos ejemplos de la aplicación de tratamientos combinados de gases residuales en diferentes procesos de tratamiento de residuos. Por regla general, el tipo de reducción de emisiones de gases residuales aplicable en cada caso concreto consiste en una combinación de técnicas, algunas de las cuales puede que no se mencionen en los ejemplos siguientes.

Instalaciones operativas anexas	Recintos de producción, parques de depósitos para almacenamiento y tratamiento de barriles
Valores límite de emisión	Contenido orgánico según la TA-Luft (Alemania)
Superficie del edificio	940 m ²
Las instalaciones constan de	Prefiltro de carbón activo (para compensar los picos de emisiones de gas sin refinar), doble
	Filtro principal regenerativo, carbón activo (doble)
	Alto reactor para emisiones procedentes de parques de depósitos para almacenamiento y de procesos de carga, doble
	Lixiviadores para la extracción de disolventes del agua (extracción de gas con aire), doble
	Tratamiento biológico del agua para condensados procedentes de altos reactores y de la etapa de carbón activo
	Torres de enfriamiento (fuera del edificio)
Tecnología	Adsorción a carbón activo
	Absorción física para el lavado con recuperación de disolventes
Control de emisiones	Análisis en línea del carbono total, percloroetileno, dicloruro de metileno, tricloroetileno, glicoles y aromas BTX
Materiales de entrada	Corrientes de aire de escape contaminado con disolventes (VbF, CHC y otros)
Capacidad operativa	6000 m ³ /h de aire de escape ligeramente contaminado procedente de los halls de producción
	400 m ³ /h de aire de escape altamente contaminado procedente de los parques de depósitos para almacenamiento y procesos de carga
Valores de emisión obtenidos	Con respecto a las sustancias orgánicas contenidas en los gases residuales, excepto las partículas orgánicas, se obtiene un flujo másico total <57 kg/año o una concentración másica total <3,6 mg de COT/Nm ³ , cada uno de los cuales se indicarán como carbono total

Tabla 4.71: Instalación de tratamiento de aire de escape de una instalación de tratamiento de disolventes residuales [130, UBA, 2003]

El tratamiento de disminución de la contaminación está integrado por	a. recogida de aire contaminado con una red bajo depresión b. grupo de ciclones y filtros usados al objeto de reducir la concentración de partículas c. sistema de oxidación térmica regenerativa
Beneficios ambientales obtenidos	El sistema de oxidación térmica regenerativa es un sistema de no combustión que carece de cámara de combustión. Como consecuencia, no genera NO _x . Dado que los contaminantes se degradan a alta temperatura (950 °C) pueden alcanzar unas concentraciones de COV en la salida inferiores a 50 mg/Nm ³
Datos operativos	Se precisa potencia eléctrica para mantener la alta temperatura y el gas natural necesarios para la realización del proceso
Instalación de ejemplo	Instalación sita en Francia

Tabla 4.72: Disminución combinada de emisiones de partículas y COV en una instalación de tratamiento de residuos peligrosos [50, Scori, 2002]

4.6.26 Ejemplos de comparaciones de técnicas de reducción de emisiones volátiles aplicadas a la preparación de combustible residual procedente de residuos peligrosos

En la tabla 4.73 y 4.74 se comparan algunas técnicas de disminución de emisiones volátiles aplicadas a un tratamiento de residuos específico.

Criterios	Filtro de mangas	Reactor húmedo
Rendimiento del tratamiento de polvo	+	-
Flexibilidad	+	+
Consumo	++	-
Costes	++	-
Riesgos (incendio, explosión, etc.)	+	++
Efectos cruzados	+	-

Nota: (-) deficiente, (+) aceptable y (++) bien adaptado

Tabla 4.73: Comparación de los filtros de mangas y reactores húmedos para la reducción de emisiones de polvo [122, Eucopro, 2003]

Criterios	Separador de nitrógeno	Tratamiento biológico	Carbón activo	Combustión combinada	Combustión catalítica	Oxidante térmico regenerativo
Rendimiento de COV	++	-	-/+	+	+	++
Consumo	-	++	++/-	++	+	+
Costes	+	++	++	++	-	+
Flexibilidad	-	-	+	+	-	++
Riesgo (por ejemplo de incendio y explosión)	+	+	-	+	+	+
Efectos cruzados	-	-	-	+	+	+

Nota: (-) deficiente, (+) aceptable y (++) bien adaptado

Tabla 4.74: Comparación de las técnicas de reducción de emisiones de COV [122, Eucopro, 2003]

4.7 Gestión de aguas residuales

Este apartado sólo trata de la gestión de aguas residuales una vez contaminadas. Las técnicas de prevención destinadas a evitar la contaminación del agua o aquellas otras técnicas para la reducción del consumo de agua no se incluyen en este punto, sino en el apartado 4.1.3.6.

Este apartado sólo trata las técnicas más pertinentes al sector del tratamiento de residuos. En general, las técnicas más comunes ya se han descrito y analizado en muchos otros BREF (cabe hacer referencia especialmente al BREF sobre aguas residuales y gases residuales [63, EIPPCB, 2002]). Por este motivo, este apartado no pretende ofrecer un análisis completo de las diferentes técnicas, sino que solamente hace hincapié en aquellas cuestiones de especial relevancia para el sector industrial que se tratan en este documento y ofrece asimismo datos de emisiones para los valores de emisiones considerados positivos y alcanzables en el sector.

El objetivo principal de los tratamientos de aguas residuales es la reducción del contenido en DBO de los efluentes líquidos (y la consiguiente reducción asociada de DQO). El tratamiento suele implicar una fase de agitación, que además de homogeneizar la masa también promueve las siguientes acciones:

- descomposición de partículas sólidas,

- desorción de residuos de partículas sólidas,
- contacto entre residuos y microorganismos orgánicos,
- oxidación de la masa por oxigenación.

Los tratamientos de aguas residuales combinan tratamientos químicos, físicos y biológicos. Normalmente incluirán una fase aerobia, donde el efluente se airea en un depósito de oxigenación (de 0,5 a 3 días de tiempo de retención) para convertir los compuestos orgánicos solubles en microorganismos (lodos) y en un efluente final más limpio. La degradación biológica sólo se produce en compuestos orgánicos que se disuelven en agua y no en compuestos orgánicos suspendidos o de fase libre. En general, el tratamiento y la purificación de las aguas residuales procedentes de instalaciones de tratamiento de residuos es un elemento importante de estas instalaciones, sobre todo debido a las potencialmente elevadas cargas contaminantes que pueden contener las aguas residuales. Cabe realizar una distinción entre procesos de separación y conversión.

Los procesos de separación son, por ejemplo:

- tratamiento mecánico
- evaporación
- adsorción
- filtración
- nanofiltración y ultrafiltración
- ósmosis inversa
- centrifugación.

Por otra parte, los procesos de conversión son, por ejemplo:

- oxidación húmeda con H₂O₂
- ozonización
- precipitación/neutralización
- tratamientos biológicos anaerobios y aerobios de aguas residuales.

4.7.1 Gestión de aguas residuales dentro del sector de tratamiento de residuos

Descripción

En la figura 4.10 se muestra un sistema de gestión de efluentes para una instalación de tratamiento de residuos.



Figura 4.10: Gestión de efluentes dentro de las instalaciones de tratamiento de residuos, que pueden clasificarse según se indica a continuación, en la tabla 4.75. [55, UK EA, 2001]

Clasificación	Objetivo	Técnicas	Apartado de este documento
Tamizado	Evitar la introducción de sustancias tóxicas y persistentes en el sistema que no se verá afectado por el tratamiento	Medidas de preceptación y aceptación	4.1.1 4.7.2
Tratamiento primario	Eliminación o reducción de las sustancias objetivo de los residuos		4.7.3
Tratamiento secundario	Detoxificación Convertir las sustancias disueltas en sólidos	Oxidación del cianuro o nitrito Reducción del cromo (VI) Precipitación de metales Neutralización del pH Reducción de DQO Sedimentación	4.7.4
Tratamiento terciario	Eliminación de los compuestos orgánicos biodegradables y los compuestos de nitrógeno	Tratamiento biológico Sedimentación Espesado y deshidratación	4.7.5
Tratamiento final	«Pulimentado» del efluente Valorización de sustancias del efluente	Filtración Membranas Oxidación de aire húmedo Adsorción	4.7.6

Tabla 4.75: Técnicas de gestión de efluentes

Entre algunas de las técnicas para la gestión eficaz de las aguas residuales, cabe citar las siguientes:

- a. detallar cualquier tratamiento ex situ en la descripción global del sistema de tratamiento de aguas residuales (en la mayoría de casos podría tratarse de instalaciones urbanas de tratamiento de aguas residuales, como depuradoras de aguas residuales). En aquellos casos en que el efluente es tratado ex situ en una planta de tratamiento de aguas residuales, los productores de aguas residuales deberán demostrar que:

- la calidad del tratamiento suministrado en el centro de tratamiento de aguas residuales es la misma que la se obtendría si el tratamiento de la emisión se realizara in situ, a partir de la reducción de carga (no concentración) de cada sustancia a las aguas receptoras;
 - la probabilidad de derivación del colector, a través de aliviaderos para el agua de crecidas/de emergencia o en estaciones de bombeo de aguas residuales intermedias, es aceptablemente baja;
 - se han puesto en práctica planes de acción para solventar cualquier derivación que se produzca, por ejemplo conociendo cuándo se producirá la derivación y reprogramando actividades como la limpieza o incluso su desconexión durante la derivación;
 - se ha instaurado un programa de monitorización adecuado para comprobar las emisiones al colector, teniendo en consideración la inhibición potencial de cualquier proceso biológico posterior y planes de acción para cualquiera de dichos eventos;
- b. seleccionar la técnica de tratamiento apropiada para cada tipo de aguas residuales;
 - c. implantar medidas que permitan aumentar la fiabilidad con la que llevar a cabo el control requerido y el rendimiento de la disminución de las emisiones (por ejemplo, optimizando la precipitación de metales);
 - d. identificar los componentes del producto químico principal del efluente tratado (incluyendo la composición de la DQO) y realizando una evaluación informada del destino de estos productos químicos en el medio ambiente;
 - e. realizar comprobaciones diarias (en aquellos casos en que se produzcan descargas diarias) sobre el sistema de gestión de efluentes y mantener un registro de todas las comprobaciones que dispongan de un sistema para controlar la descarga de efluentes y la calidad de los lodos;
 - f. disponer de procedimientos operativos que garanticen que la especificación del efluente es idónea para el sistema de tratamiento de efluentes in situ o los criterios de descarga;
 - g. evitar los efluentes mediante bifurcación en los sistemas de las instalaciones de tratamiento;
 - h. disponer de un sistema cerrado instaurado y operativo que permita recoger el agua pluvial depositada en las zonas de procesamiento junto con efluentes de lavado de cisternas, vertidos ocasionales, lavados de bidones, etc., y devueltos a la instalación de procesamiento o recogidos en un interceptor combinado;
 - i. recoger el agua pluvial en un depósito especial para tratamiento posterior en el caso de detectarse que está contaminada;
 - j. disponer de una base totalmente de hormigón, con caídas a los sistemas de drenaje de puntos internos que lleven a los depósitos de almacenamiento o a interceptores que puedan recoger agua pluvial y cualquier vertido. Los interceptores con un caudal por encima del rango del colector normalmente precisarán sistemas de monitorización automática, como comprobaciones del pH, que podrán interrumpir el exceso de caudal;
 - k. reutilizar las aguas residuales tratadas y el agua pluvial del proceso (como el agua de enfriamiento);
 - l. descargar sólo las aguas residuales almacenadas tras la conclusión de todas las medidas de tratamiento y de la inspección final posterior;
 - m. usar las aguas lixiviadas de vertedero como agua de entrada para la digestión aerobia;
 - n. el agua de proceso y de escurritía se maneja por medio de un sistema de circulación cerrada;
 - o. reutilizar parcialmente el agua usada para la producción de solución de polímero;
 - p. aplicar métodos de desplazamiento de las aguas de proceso tratadas químicamente que contengan COV (otro ejemplo concreto es el agua superficial contaminada), que den lugar a un contenido inferior en DQO.

Beneficios ambientales obtenidos

Estas técnicas generalmente minimizan las emisiones a los cursos de agua de carga. También son susceptibles de reducir el riesgo de contaminación de las aguas de proceso o superficiales, así como reducir las emisiones de olores y COV.

Datos operativos

El funcionamiento se basa especialmente en un buen control de la materia prima para garantizar que los residuos no inhiban el proceso de tratamiento (por ejemplo: biológico).

Aplicabilidad

Generalmente se aplica a la mayoría de instalaciones de tratamiento de residuos. La opción de tratamiento de residuos aplicada depende del tipo de contaminación de la que sea objeto el agua residual. Sin embargo, las medidas para el tratamiento de contaminantes orgánicos e inorgánicos en ocasiones son comunes. En algunos casos, especialmente en pequeñas instalaciones, los tratamientos de aguas residuales pueden efectuarse ex situ. Estos tratamientos de aguas residuales centrales ex situ, por regla general, tratan aguas residuales procedentes de muchas instalaciones, no sólo de instalaciones de TR.

La técnica d (véase el apartado anterior: Descripción) debe tener en consideración que la realización de una evaluación del impacto ambiental de todas las variaciones de la descarga de la instalación de TR no es realista.

La frecuencia de la técnica e (véase el apartado anterior: Descripción) está orientada en ocasiones por una estrategia de riesgo.

La técnica k (véase el apartado anterior: Descripción) puede presentar restricciones en su aplicación, debido al aumento de la concentración de algunos componentes solubles susceptibles de interferir en el proceso de tratamiento de residuos.

La técnica l (véase el apartado anterior: Descripción) puede conllevar la necesidad de disponer de un depósito de almacenamiento adicional, lo que podría resultar costoso y requerir espacio especialmente en el caso de flujos grandes y continuos.

Motivo principal para su aplicación

Las descargas de agua se regulan por la normativa local/regional/nacional o internacional.

Instalaciones de ejemplo

Una gran proporción de instalaciones británicas funcionan en un sistema cerrado mediante el cual el agua pluvial que cae en las zonas de procesamiento se recoge y devuelve a la instalación de procesamiento. Existen algunos ejemplos de reutilización de agua en procesos de inmovilización y en las instalaciones de tratamiento de aceites usados después del tratamiento biológico. Pueden obtenerse más ejemplos de reutilización de agua en las actividades de lavado y limpieza.

Bibliografía

[50, Scori, 2002], [51, Inertec, et al., 2002], [52, Ecodeco, 2002], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [66, GTT, 2003], [86, GTT, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [122, Eucopro, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004], [153, GTT, 2005]

4.7.2 Parámetros a tener en cuenta antes de mezclar aguas residuales

Descripción

Entre algunas de las técnicas previas al mezclado de aguas residuales que recibirán tratamiento posterior, se incluyen:

- a. no mezclar las aguas residuales que contengan compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX), cianuros, sulfuros, compuestos aromáticos, benceno o hidrocarburos (disueltos, emulsionados o no disueltos);
- b. para los metales, utilizar el mercurio, cadmio, plomo, cobre, níquel y cromo como parámetros de clasificación para el agua residual, ya que como el arsénico y el cinc, todos ellos se producen en aguas residuales parcialmente en forma disuelta y parcialmente como

sulfuros suspendidos y deben ser reducidos en plantas de tratamiento de aguas residuales. Estos parámetros también sirven para controlar la eficacia del tratamiento de las aguas residuales;

- c. garantizar que se hayan instaurado medidas para aislar los efluentes si las muestras de prueba indican un incumplimiento potencial de la especificación. Los incidentes de esta naturaleza deberán anotarse en el registro de efluentes;
- d. segregarse los sistemas de recogida de aguas potencialmente más contaminadas (como las procedentes de zonas de almacenamiento y de carga/descarga) y de aguas menos contaminadas (como el agua de lluvia);
- e. aislar los sistemas de drenaje de zonas de almacenamiento de residuos inflamables para evitar la propagación de incendios a lo largo del sistema de drenaje mediante disolventes u otros hidrocarburos inflamables.

Beneficios ambientales obtenidos

Evita problemas en el tratamiento y la dilución posteriores.

Datos operativos

Los residuos y las aguas residuales suelen contener una mezcla de compuestos duros y blandos de DQO que puede o no afectar al contenido de DBO.

Aplicabilidad

La técnica d se lleva a cabo, por regla general, en dos sistemas independientes. Uno especializado en el agua pluvial normalmente no tratada y otro que recoge todos los restos de efluentes acuosos que suelen tratarse juntos. En algunos casos, el agua pluvial procedente de zonas de almacenamiento o de carga/descarga puede resultar más contaminada.

Instalaciones de ejemplo

Los procedimientos realizados por las instalaciones FQ se separan hidráulicamente en aguas residuales contaminadas y agua de lluvia no contaminada. Las instalaciones FQ disponen de dos sistemas de deshidratación técnica independientes.

En relación con el punto e) del apartado Descripción, se han producido una serie de incidentes en el Reino Unido en los que se han propagado incendios de una zona a otra de las instalaciones a través del sistema de drenaje.

Bibliografía

[121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [134, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.7.3 Tratamientos primarios de aguas residuales

Descripción

Entre algunas de las técnicas, cabe citar las siguientes:

- a. garantizar que el efluente carezca de aceites visibles. Esta comprobación deberá incluir los procedimientos adecuados para garantizar la configuración, el funcionamiento y el mantenimiento correctos de la instalación de separación de aceite/agua
- b. realizar el agotamiento de aire en los depósitos de oxigenación de los lixiviados del vertedero antes de que se mezcle con las aguas residuales de la instalación.

Beneficios ambientales obtenidos

Elimina o reduce las sustancias objetivo de las aguas residuales. En relación con la técnica b del apartado anterior Descripción, este sistema está diseñado para eliminar cualquier exceso de amoníaco y metano de los lixiviados antes de que estas emisiones vayan directamente al aire o representen un riesgo de explosión en el colector. Se ha registrado una descarga estimada de cinco toneladas de amoníaco al año en una instalación.

Aplicabilidad

El agotamiento de aire se utiliza para eliminar los hidrocarburos halogenados y no halogenados de la solución acuosa diluida, para permitir el procesamiento de la solución residual dentro de la PTAR sin afectar a los estándares de descarga de efluentes. Los hidrocarburos se recuperan en filtros de carbono. El agotamiento de aire resulta idóneo para las corrientes de baja concentración (<200 ppm). El proceso de agotamiento de vapor es capaz de reducir los COV en agua hasta concentraciones muy bajas (es decir, niveles de ppb).

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [150, GTT, 2004]

4.7.4 Tratamientos secundarios de aguas residuales

Descripción

Algunas de las técnicas incluyen:

- a. disponer de una unidad de tratamiento de efluentes propia que utilice la filtración de vacío para eliminar los sólidos coloidales;
- b. garantizar la minimización de los niveles de metales en solución, normalmente ajustando el pH al nivel correcto requerido para mantener la solubilidad mínima;
- c. garantizar que el tratamiento de cianuro (oxidación de cianuro) se lleve a cabo por completo, normalmente manteniendo el pH >10 y evitando el arrastre de NaOCl debido a una sobredosificación;
- d. tener instaurado un sistema de neutralización del pH;
- e. utilizar un proceso de floculación para crear una torta de filtración, con la neutralización del producto filtrado y una descarga al colector para la manipulación de los residuos de emulsión de látex y el agua pluvial contaminada de la instalación. El análisis final de la torta tendrá una concentración de nitrógeno de ~51 mg/kg de torta.

Beneficios ambientales obtenidos

La precipitación y floculación se emplean para convertir las sustancias disueltas en sólidos y concentrarlas de manera que puedan separarse con la adaptación de un pH apropiado.

La precipitación transfiere las sustancias inorgánicas y orgánicas disueltas a la fase sólida no disuelta a través de una reacción química. Durante la floculación, los procesos físico-químicos (desestabilización, creación de microfloculos y macrofloculos) se utilizan para llevar las sustancias suspendidas o coloidales finas a un estado en el que puedan separarse de la fase líquida mediante procedimientos mecánicos (por ejemplo: sedimentación, flotación y filtración). En la práctica, la precipitación y floculación suelen producirse en paralelo a los procesos de adsorción.

Datos operativos

Ciertos ligandos inorgánicos y orgánicos contenidos en el agua pueden interrumpir o inhibir la reacción de precipitación.

Las concentraciones elevadas de sales neutras incrementan la solubilidad residual en la precipitación neutral de los metales. Si los requerimientos relativos a las concentraciones de metales residuales no se cumplen, serán necesarias etapas de tratamiento adicionales, como la precipitación adicional como sulfuro, filtración, intercambio iónico, etc.

A fin de garantizar unas condiciones óptimas de precipitación y floculación, puede ser necesario el pretratamiento, que puede implicar una separación de sustancias ligeras, descomposición de la emulsión, destrucción de complejos o eliminación sistemática, detoxificación o evitación de

sustancias susceptibles de interrumpir la reacción o la posterior separación de sólidos. Esto posiblemente podría conllevar asimismo que fuera necesario el tratamiento separado de los residuos y sus aguas residuales.

Si el agua residual contiene principios activos de superficie que puedan producir formación de espumas en los envases de reacción, deberán tomarse medidas contrarrestantes.

Aplicabilidad

La precipitación química se emplea principalmente para eliminar iones metálicos de las aguas residuales y para la eliminación química de fosfato. Aparte de la separación de productos de precipitación, la floculación también elimina los sólidos suspendidos y los compuestos moleculares más elevados.

Para la precipitación y floculación, los siguientes puntos pueden ser de importancia y deberían tenerse en consideración:

- la precipitación química debería dar lugar a unos compuestos con un producto de solubilidad correspondientemente baja;
- para garantizar el contacto óptimo entre los socios de reacción, se precisa un buen mezclado en el reactor de precipitación. La floculación efectiva también requiere una distribución rápida y uniforme de los agentes de floculación. La aplicación de agitación permite la creación de flóculos que sedimentan bien, aunque deberían evitarse las fuerzas de cizalladura excesiva;
- la separación de la fase de coagulación (compensación del potencial eléctrico de los coloides) y la fase de floculación en dos etapas diferentes es una forma apropiada, en muchos casos, de obtener un buen resultado de floculación;
- la realimentación de los lodos de contacto mejora la producción de flóculos compactos y pesados y garantiza la utilización óptima de reactivos;
- un proceso de precipitación y floculación multifase avala la consecución en etapas del pH óptimo y la combinación eficaz de distintas técnicas de precipitación y floculación (como la precipitación de hidróxido seguida de precipitación de sulfuro).

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [134, UBA, 2003]

4.7.5 Tratamientos terciarios de aguas residuales

Descripción

Para la eliminación de compuestos orgánicos biodegradables y de compuestos de nitrógeno, los procesos de tratamiento biológico han demostrado su eficacia en repetidas ocasiones. A diferencia de otras técnicas, el tratamiento biológico hace uso de microorganismos que pueden reaccionar a las múltiples condiciones límite de su existencia y, por lo tanto, son capaces de ajustarse de manera óptima a los compuestos que deberán ser degradados (adaptación). En condiciones anaerobias, diferentes poblaciones de bacterias evolucionan, lo que permite la degradación de una amplia variedad de sustancias. En el caso óptimo, la degradación se produce hasta el punto de crear sustancias inorgánicas como CO₂ y H₂O (mineralización). Algunas técnicas terciarias incluyen:

- a. la aplicación de un tratamiento biológico para las aguas residuales con alto contenido en DBO. Las sustancias tóxicas y persistentes, que constituyen un porcentaje de la carga de DQO, como los disolventes, pesticidas, organo-halógenos y otras sustancias orgánicas, pueden adsorberse sobre partículas y materia coloidal y después eliminarse como residuos sólidos. El proceso de tratamiento no determina la eficacia de éste y la eliminación es sumamente variable. Por «regla general», para facilitar la biodegradación, el cociente de DQO/DBO o de efluente a colector no debería ser superior a 10:1;
- b. la sedimentación;

- c. el espesado y deshidratación;
- d. la oxidación de aire húmedo.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce la DBO y, por consiguiente, reduce la carga de DQO del agua residual. Al mismo tiempo, el tratamiento biológico puede capturar nitrógeno y algunos microelementos (como el cinc). La degradación de compuestos orgánicos se lleva a cabo por microorganismos cuya actividad depende en gran medida de sus condiciones ambientales, causando cierto grado de fluctuación en la eficacia del proceso.

Parámetro	Alimentación (efluente primario)		Efluente después del tratamiento biológico (reactor de lote secuencial)	
	Mínimo (mg/l)	Máximo (mg/l)	Mínimo (mg/l)	Máximo (mg/l)
DQO	2500	12.000	600	1500
NH ₄ -N ¹⁾	25	16.000	<1	150
Nitrito	10	300	<1	<1
Nitrato	10	1000	<1	<1
Fenoles	10	500	<2	<2
Contenido de aceite	--	--	<0,5	--

¹⁾ Efluente después del tratamiento biológico: suele ser de alrededor de 20 mg/l

Tabla 4.76: Concentración de efluentes de una instalación FQ antes y después del tratamiento terciario de las aguas residuales [150, GTT, 2004]

Efectos cruzados

Mineralización de sustancias orgánicas y producción de biomasa. A través de procesos de adsorción y bioacumulación, los compuestos inorgánicos y orgánicos no degradables pueden acumularse en la biomasa.

Datos operativos

Ciertos contenidos orgánicos e inorgánicos del agua residual pueden ejercer un efecto tóxico sobre la población bacteriana. Debido a la demanda de nutrientes de los procesos biológicos, las bajas concentraciones en fósforo pueden convertirse en el factor limitante para la vida bacteriana (este problema posiblemente pueda resolverse mediante la adición sistemática de nutrientes). Con respecto a todas las técnicas de tratamiento biológico actualmente en uso, deberán tenerse en cuenta una serie de características especiales y condiciones límite:

- para la degradación biológica, se precisan nutrientes (nitrógeno y fósforo) y oligoelementos (metales, etc.);
- deberán mantenerse unos intervalos de pH óptimos (normalmente pH 6,5-8,5) dentro del reactor;
- para mantener el proceso en funcionamiento, son necesarios unos contenidos de oxígeno superiores a 1 mg/l;
- la actividad de los microorganismos aumenta con temperaturas superiores, hasta un valor óptimo de alrededor de 30-35 °C. Por debajo de 10 °C, la velocidad de reacción suele disminuir drásticamente;
- para la funcionalidad del sistema, la retención de biomasa reviste especial importancia.

Las instalaciones biológicas deberían diseñarse con suficiente tiempo de residencia para alcanzar una descomposición adecuada de los compuestos más complejos presentes en el agua residual.

La antigüedad de los lodos también es importante. Unas temperaturas operativas óptimas también pueden contribuir a la degradación. Algunas instalaciones aerobias actualmente están programadas para operar a alrededor de 30 °C.

Aplicabilidad

El tratamiento biológico es una técnica muy eficaz para la eliminación de:

- un gran número de compuestos de carbono orgánico biodegradables. Incluso si el análisis del agua residual indica una degradabilidad biológica baja (relación DBO₅/DQO <0,1), todavía podrá eliminarse el 40-50 % de la DQO (con sólo una pequeña producción de biomasa);
- compuestos de nitrógeno. El nitrógeno orgánico y el amonio pueden transformarse a través de nitrito a nitrato. Pueden obtenerse fácilmente unos valores de emisiones inferiores a 10 mg NH₄⁺-N/l y valores <1 mg NH₄⁺-N/l son comunes. El nitrato o nitrito puede convertirse en nitrógeno elemental.

Instalaciones de ejemplo

De uso generalizado en el sector.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [134, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.7.6 Tratamientos finales de aguas residuales

Descripción

Tratamiento final se refiere a cualquier proceso que se considera una fase de «pulido» que suele ser posterior al tratamiento terciario, si existe, y que también puede englobar la valorización de sustancias específicas. Se relacionan algunas técnicas a continuación, en la tabla 4.77:

Técnica	Descripción
Macrofiltración	Filtración de arena, medios mixtos (por ejemplo, mezclas de arena/antracita) o tipos de medios de filtración más especializados, como el carbón activo granular (CAG)
Fuerte reducción	
Oxidación de aire húmedo	La oxidación de aire húmedo es un método de tratamiento físico-químico destructivo que se utiliza para tratar efluentes acuosos con altos niveles de DQO, que no son idóneos para ser directamente descargados a la PTAR, pero cuya incineración es demasiado cara
Fuerte reducción con hidracina	
Intercambio iónico	Eliminación de nitrato, metales y concentración de metales

Tabla 4.77: Tratamientos finales de aguas residuales

Beneficios ambientales obtenidos

Los beneficios de estos tratamientos son el «pulido» final del efluente y la recuperación de sustancias del efluente antes de su reutilización o su emisión al colector, aguas superficiales, etc.

Existe cierta libertad en la aplicación de estas técnicas de filtración (incluyendo filtros de arena) para eliminar las partículas del efluente, ofreciendo así un medio para reducir el nivel de sólidos suspendidos en el efluente.

La macrofiltración elimina los sólidos suspendidos, ciertos productos químicos, sabores y olores.

Efectos cruzados

La macrofiltración mediante carbono CAG precisa regeneración, que normalmente se efectúa por incineración.

Datos operativos

Los procesos de filtración necesitan presión. En algunos casos, se requieren presiones muy elevadas (como en el caso de la ósmosis inversa).

Las tentativas de utilizar oxidación de aire húmedo para algunos tratamientos de residuos han presentado problemas relativos a la heterogeneidad y variabilidad de las materias primas residuales; y, como consecuencia, no existen aplicaciones actuales en el tratamiento de residuos. Sin embargo, se aplican en otros sectores, ya que resultan idóneos para procesos específicos con corrientes residuales concretas in situ.

Aplicabilidad

La adsorción es simple y fiable y permite la operación de lotes.

Motivo principal para su aplicación

La necesidad de estos tratamientos viene dictada por tres factores potenciales:

- el requerimiento de cumplir las condiciones de descarga citadas en los permisos,
- para permitir el reciclaje de aguas residuales para agua de proceso o agua de lavado,
- para ayudar a la recuperación por ejemplo de aceite del agua contaminada con aceite, por ejemplo, mediante ultrafiltración.

Los sistemas de filtración están siendo utilizados actualmente por algunas compañías de abastecimiento de agua en las descargas de trabajos de tratamiento de aguas residuales, principalmente para el control de patógenos en los residuos.

La hidracina es una sustancia peligrosa y según los informes, su uso está prohibido al menos en un Estado miembro.

Instalaciones de ejemplo

Existe una instalación de ejemplo donde el 90 % de la emisión de Hg procede de la contaminación del suelo, que posteriormente se filtra en las tuberías. En Akzo Nobel en Bohus (Suecia), una instalación de cloro-álcali de base de mercurio, el sistema de eliminación de mercurio del agua residual consiste en una unidad de mezcla donde se añade hidracina al agua residual, dos depósitos de sedimentación, filtros de arena, filtros de carbón activo y filtros de intercambio iónico. El flujo de aguas residuales tratadas fue de 7 m³/h con un contenido en mercurio de 3000-5000 µg/l en 1997, con una concentración de mercurio resultante en el agua residual de 5-8 µg/l, correspondiente a una emisión de 0,005 g de Hg/tonelada de capacidad de cloro. La emisión de mercurio total al agua procedente de la instalación fue de aproximadamente 0,045 g de Hg/tonelada de capacidad de cloro, lo que significó que aproximadamente el 10 % de las emisiones de mercurio eran emisiones del proceso, siendo el otro 10% emisiones indirectas de mercurio depositado que finalizan en el agua de escorrentía.

Bibliografía

[41, R.U., 1991], [42, R.U., 1995], [55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004]

4.7.6.1 Evaporación

Descripción

El objetivo del tratamiento es concentrar el contenido de agua residual en volúmenes más manejables.

Mediante la división de la evaporación en varias etapas más pequeñas y gracias al uso del vacío (al objeto de reducir la temperatura de ebullición), el uso energético puede optimizarse.

Dependiendo de la temperatura, la evaporación suele producirse sin conversión química de sustancias. Durante la concentración, podrían crearse fases que favorecieran la separación posterior (como la cristalización).

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce la cantidad de aguas residuales a tratar.

Efectos cruzados

Se produce un mayor consumo energético. Si los materiales no son idóneos para la valorización, los residuos de evaporación pueden verse de forma controlada después de un postratamiento adecuado (como el secado, la deshidratación y el acondicionamiento) según su contenido. Dado que la evaporación sólo producirá un condensado de vapor ligeramente contaminado en el caso más favorable, el condensado normalmente deberá someterse a un postratamiento y a purificación según su contenido.

Datos operativos

Límites del tratamiento:

- para la selección de material de entrada para las instalaciones de evaporación, es preciso tener en cuenta el contenido del agua residual;
- si el agua residual contiene principios activos de superficie susceptibles de producir espumas durante el proceso de evaporación, deberán tomarse medidas para reducir la espuma. Además de la instalación de separadores, el uso de desespumantes puede ser necesario.

Deberá disponerse de instalaciones para la eliminación mecánica de «cortezas» para la descarga de sustancias sólidas que se acumulan durante la evaporación.

Aplicabilidad

El tratamiento es idóneo para las aguas residuales altamente contaminadas de las que es preciso eliminar todo el contenido inorgánico y orgánico que no sea volátil. La evaporación es idónea, por ejemplo, para la concentración adicional de las aguas residuales ya espesadas mediante ósmosis inversa o ultrafiltración.

Instalaciones de ejemplo

Tratamiento físico-químico de aguas residuales.

Bibliografía

[134, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.7.6.2 Adsorción

Descripción

La adsorción del carbón activo se aplica principalmente para la separación de sustancias orgánicas de las aguas residuales. Actualmente se emplean dos enfoques distintos:

- la adición de carbón activo mayoritariamente pulverizado al agua residual a tratar;
- la corriente de agua residual sobre varias columnas de adsorción ordenadas en series, y que se llenan con carbón activo granulado.

Beneficios ambientales obtenidos

Reduce las sustancias orgánicas en el agua residual.

Efectos cruzados

Al utilizar carbón pulverizado, el carbón deberá separarse del agua residual después de su uso. En función de las sustancias adsorbidas, puede incinerarse o eliminarse en vertederos adecuados. El carbón granulado normalmente se recupera en instalaciones externas.

Aplicabilidad

Este proceso de tratamiento es principalmente idóneo para eliminar sustancias orgánicas de las aguas residuales. Si los contaminantes individuales o grupos de contaminantes (por ejemplo, AOX) deben eliminarse de manera selectiva, el proceso puede optimizarse visitando las propiedades especiales del agua residual (tipo y cantidad de sustancias) y, por lo tanto, la adsorción puede adaptarse a los casos individuales (forma y propiedades del carbón, tiempo de adsorción, tamaño y disposición de la columna, etc.)

Como los sólidos pueden ocupar la superficie del carbón activo y, de este modo, bloquear los poros, tienen que eliminarse antes del tratamiento con carbón activo.

Instalaciones de ejemplo

La adsorción de carbón activo se utiliza con frecuencia para permitir al operador satisfacer el valor máximo permisible de $\text{AOX} \leq 1 \text{ mg/l}$. La adsorción de carbón activo, sin embargo, no separa selectivamente los materiales que forman el AOX, sino más bien un sinfín de otras sustancias orgánicas.

Bibliografía

[134, UBA, 2003]

4.7.6.3 Filtración por membrana

Descripción

La separación de sustancias en procesos de membrana se realiza mediante las permeabilidades diferenciales de la membrana para diferentes componentes químicos. Al menos existe un componente de la mezcla de sustancia que debe separarse: normalmente el disolvente podrá pasar a la membrana sin resistencia, mientras que los elementos restantes quedarán retenidos en mayor o menor grado. La fracción retenida representa el concentrado; el material que pasa a través de la membrana se denomina permeato.

Los siguientes procesos de tratamiento, agrupados según sus tamaños de poro, se hallan actualmente en uso técnico:

- | | | |
|------------------------|-----------------------------|---------------------|
| • microfiltración (MF) | (>0,6 μm , | >500.000 g/mol) |
| • ultrafiltración (UF) | (0,1-0,01 μm , | 1000-500.000 g/mol) |
| • nanofiltración (NF) | (0,01-0,001 μm , | 100-1000 g/mol) |
| • ósmosis inversa (OI) | (<0,001 μm , | <100 g/mol) |

Entre algunas de las cuestiones a tener en cuenta, se incluyen:

- el pH del agua residual a tratar puede modificarse para acelerar las reacciones o mejorar los valores de carga;
- puede conectarse un filtro fino delante del adsorbente de carbón activo para retener los sólidos tóxicos;
- la humectación del carbón activo, el uso de granulado fino en vez de polvo y su alimentación por debajo del nivel de agua del reactor/depósito pueden ayudar a superar problemas debidos a la formación de polvo en la agitación.

Beneficios ambientales obtenidos

Mediante el uso de técnicas de membrana, las aguas residuales con contaminantes orgánicos e inorgánicos pueden ser tratadas sin la adición considerable de productos químicos.

Efectos cruzados

A través de la optimización del proceso, el permeato de una instalación de membrana normalmente debería purificarse lo suficiente para reciclarse en el proceso industrial o para cumplir los estándares mínimos de calidad relativos a descargas en masas acuáticas. El concentrado suele estar sujeto a tratamiento posterior, como:

- reutilización
- eliminación
- evaporación
- inmovilización.

Aplicabilidad

Las técnicas de membrana utilizadas para la separación y acumulación de sustancias se han convertido en una tecnología clave en el tratamiento del agua y de las aguas residuales porque no son necesarios productos químicos, excepto para la limpieza de la membrana, debido a la naturaleza puramente técnica de la separación. Por consiguiente, los componentes de separación no están contaminados ni química ni térmicamente. Debido a dichos factores, los aspectos económicos del tratamiento incluso lo hacen eficiente en instalaciones de menor tamaño y el tratamiento descentralizado de aguas en el lugar de origen también es posible.

La aplicabilidad de las técnicas de membrana está influenciada tanto por la construcción y el diseño de los sistemas de módulos/membrana como por una serie de factores limitantes adicionales, entre ellos:

- factores perjudiciales: cloruro libre, disolventes orgánicos, oxidantes fuertes,
- factores de bloqueo,
- ensuciamiento (hidróxidos de metales, coloides, sustancias biológicas y sustancias orgánicas),
- formación de costras (precipitación de sales con baja solubilidad),
- factores que afectan al rendimiento,
- presión osmótica y viscosidad.

Sin embargo, estos factores no suelen ser exclusivos de las técnicas de membrana. No obstante, por lo general requieren una preevaluación detallada del agua a tratar con respecto a:

- la elección de la membrana (polímero o cerámica),
- la selección del material (sintético o acero),
- el pretratamiento necesario (filtración, inhibición, biocidas, etc.),
- el programa de purificación (ácido, alcalino).

Instalaciones de ejemplo

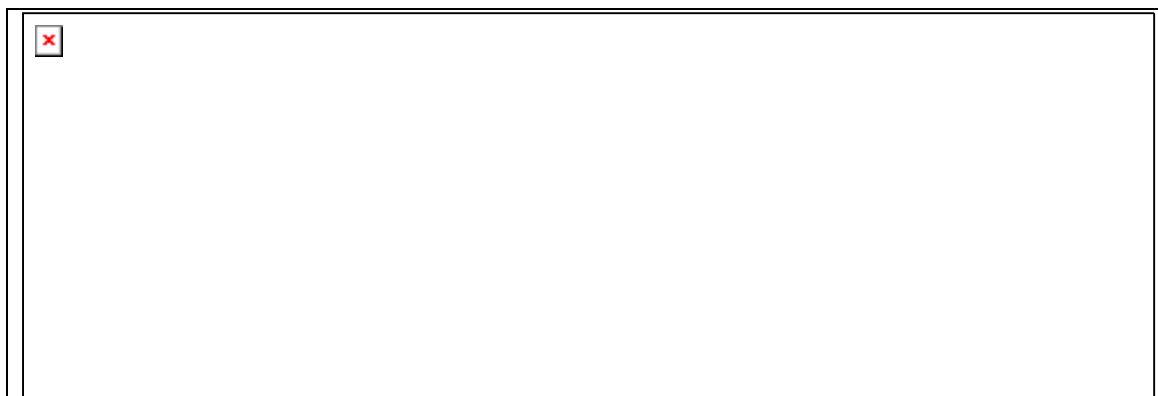


Figura 4.11: Ejemplo de diagrama que representa una instalación de ósmosis inversa de tres etapas [150, GTT, 2004]

Bibliografía

[134, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.7.6.4 Tratamiento con ozono/UV

Descripción

Las aguas residuales altamente contaminadas pueden ser tratadas con ozono solo o con ozono y luz UV en combinación mediante procesos de tratamiento biológico.

La reacción del ozono es una reacción química húmeda. A pH inferiores a 9, el ozono reacciona iónicamente por descomposición, dejando atrás un átomo de oxígeno activo, o como radical mediante adsorción de la molécula íntegra a enlaces dobles de carbono orgánico, descomponiéndolos a pH superiores a 9. Los radicales de oxígeno o los radicales de hidroxilo también pueden crearse a partir del ozono mediante exposición a la luz UV y son incluso más reactivos que el ozono.

Además, los compuestos de nitrógeno pueden degradarse a través de una combinación del tratamiento de ozono con procedimientos biológicos. Allí, el agua residual se transporta desde la bomba de afluencia hasta el recipiente de desnitrificación. Se añade ácido fosfórico al caudal de entrada. Antes de que el líquido entre en el recipiente de desnitrificación, se añade el retroceso de la nitrificación.

En los reactores de ozono, el ozono puede reaccionar con las sustancias oxidables contenidas en el agua residual. En los reactores UV de circulación descendente, el ozono que todavía permanece en la agua se destruye o convierte en radicales, que después también reaccionan con sustancias orgánicas.

El oxígeno restante es utilizado por las bacterias aerobias para la nitrificación.

Después del tratamiento con ozono y luz UV, parte del agua de recirculación se descarga del proceso al flujo de salida como agua residual purificada.

Beneficios ambientales obtenidos

La oxidación química húmeda con ozono solo o con ozono en combinación con luz UV reduce la concentración de:

- hidrocarburos orgánicos disueltos (HOD),
- hidrocarburos halogenados,
- carbohidratos aromáticos policíclicos (CAP),

- pesticidas,
- dioxinas,
- microorganismos (patógenos).

El objetivo de la oxidación química húmeda es la degradación directa de contaminantes a una presión y temperatura bajas. El ozono reacciona con todas las sustancias orgánicas que contienen enlaces dobles de carbono-carbono.

Algunos compuestos alifáticos de cadena corta y los compuestos de carbono halogenado no reaccionan fácilmente con el ozono. Los enlaces de estas moléculas pueden romperse más fácilmente si el ozono y la luz UV se aplican en combinación.

En función de las condiciones límite (tipo de contenido de las aguas residuales, penetración de ozono y tiempo de reacción) la reacción puede producir dióxido de carbono en el punto de oxidación completa y sustancias biológicamente degradables (aumento de DBO₅) o sustancias que no son fácilmente biodegradables.

Efectos cruzados

Si se combina el tratamiento con ozono/UV con una etapa biológica, se producen lodos por el tratamiento biológico que después tienen que someterse a un tratamiento posterior.

Aplicabilidad

Algunas de las cuestiones a destacar son:

- los compuestos alifáticos de cadena más larga sin enlaces dobles no se ven alterados por el tratamiento con ozono/UV;
- con aguas residuales coloreadas o turbias, el tratamiento es posible sólo si no se precisa tratamiento UV para la degradación del contenido;
- las sustancias inorgánicas contenidas en el agua residual no se modifican y a concentraciones elevadas de sal pueden producir alteraciones en el proceso.

Instalaciones de ejemplo



Figura 4.12: Ejemplo de diagrama de flujo que muestra el tratamiento de ozono/UV de las aguas residuales
[150, GTT, 2004]



Figura 4.13: Ejemplo de diagrama de flujo que muestra un tratamiento biológico y UV [150, GTT, 2004]

Bibliografía

[134, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.7.7 Declaración de los componentes del efluente generados en las instalaciones de tratamiento de residuos

Descripción

Este apartado pretende ofrecer algunas directrices sobre el tipo de parámetro hídrico (contaminantes) a analizar en el efluente procedente de una instalación de tratamiento de residuos. Más abajo, en la tabla 4.78, se facilita información relativa a los parámetros hídricos analizados, los niveles alcanzables, la frecuencia de la medición y una indicación de si dicho parámetro se monitoriza de forma continuada y qué tipo de instalaciones de tratamiento de residuos requiere el parámetro concreto.

Parámetro hídrico	Niveles de emisión alcanzados (mg/l)	Promedio (continuo, diario, mensual, anual)	Ejemplo de instalaciones de TR donde el parámetro se ha registrado
pH		Continuo	Todos
Sólidos secos	17.000-27.000		Tratamientos FQ
Sólidos suspendidos	0,1-79	Continuo	Todos
Conductividad (µS/cm)	900-21.000	Continuo	Tratamientos FQ
Nitrógeno total	110-3500	Mensual	Tratamientos biológicos y FQ
Amoniaco	10-2500		Tratamientos biológicos y FQ
Nitrito	0,01-10		Todos
Nitrato	0,9-10		Tratamientos biológicos y FQ
Fósforo total	<0,1-2,6	Mensual	Gestión de residuos de fósforo, como en tratamientos FQ
Cloruro total	1500-18.240		Tratamientos biológicos y FQ

Sin cloruro	≤0,1-0,4		Tratamientos FQ
Sin cianuro	<0,01-0,1		Tratamientos FQ
Fluoruro	0,5-10		Tratamientos FQ
Cianuro total	≤0,1		Tratamientos FQ
Sulfato	65-1070		Tratamientos FQ
Sulfito	≤1-50		Tratamientos FQ
Sulfuro	≤0,1		Tratamientos FQ
Toxicidad acuática			
Indicadores microbiológicos (como patógenos)			
Luminiscencia bacteriana			
DBO	20-3000		
BTEX	<0,1-0,7		Tratamientos FQ
DQO	120-5000		Todos
Detergentes	0,6-5,3		
Hidrocarburos	<0,1-3,8		Todos
HAP			
AOX	0,1-0,5		Todos
Fenoles	0,1-1,9		Tratamientos FQ
COV	<0,01-0,1		Tratamientos FQ
Disolventes			
COT			
HTP			
Metales		Mensual	Tratamiento FQ
Ag	≤0,1		
Al	<0,1-2		Tratamientos FQ
As	<0,01-0,1		Residuos con arsénico Tratamientos FQ
Ba	≤5		Tratamientos FQ
Cd	≤0,1		Tratamientos FQ
Co	<0,1-1,0		Tratamientos FQ
Cr(VI)	<0,01-0,1		Tratamientos FQ
Cr	<0,1-0,5		Tratamientos FQ
Cu	≤0,1-0,5		Tratamientos FQ
Fe	0,1-5,2		Tratamientos FQ
Hg	0,001-0,01		Tratamientos FQ
Mn	<0,1-0,9		
Ni	<0,1-1,0		Tratamientos FQ
Pb	<0,1-0,5		Tratamientos FQ
Se	≤0,1		Tratamientos FQ
Sn	<0,1-2,0		Tratamientos FQ
Zn	<0,1-2,0		Tratamientos FQ

Tabla 4.78: Parámetros del agua monitorizados en instalaciones de tratamiento de residuos [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [116, Irish EPA, 2003], [134, UBA, 2003], [59, Hogg, et al., 2002], [150, GTT, 2004]

Beneficios ambientales obtenidos

Identifica y ayuda a la monitorización de los contaminantes que suelen liberarse.

Instalaciones de ejemplo

En general, el consentimiento de descarga refleja el tipo de actividad llevada a cabo en la instalación, es decir, las que manipulan grandes volúmenes de disolventes tienen que analizar el contenido en disolventes; y a otras puede que sólo se les exija el análisis del pH y la DQO.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [59, Hogg, et al., 2002], [86, GTT, 2003], [116, Irish EPA, 2003], [134, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.7.8 Ejemplos de plantas de tratamiento de aguas residuales del sector [56, Babbie Group Ltd, 2002]

Un ejemplo de PTAR utilizada en las instalaciones de tratamiento de aceites usados puede incluir el procesamiento de los residuos acuosos a través de una unidad físico-química donde se añade cloruro férrico como floculante y se llevan los lodos al filtro prensa. Después, la fase acuosa podrá dosificarse con polielectrólitos y cal para elevar el pH y producir otra capa de lodo que posteriormente se trasladará a la prensa de lodos. Las soluciones intravalvulares de la prensa junto con las sobrenadantes se someterán a tratamiento biológico, pero ahora éstas carecerán sustancialmente de residuos de aceite y metales, y el nivel de DQO global también deberá reducirse.

4.8 Gestión de residuos

La palabra «residuo» se utiliza en este apartado con el significado de residuos sólidos generados por la actividad de tratamiento de residuos y no está directamente relacionada con el tipo de residuos tratados en las instalaciones. Se trata de la misma clase de convención utilizada en el capítulo 3 y a lo largo de este documento (véase también el Glosario). Recuérdese que en el capítulo 3 los residuos procedentes de las instalaciones se denominan residuos de salida. Residuos de salida guarda una relación directa con los residuos de entrada de las instalaciones. En el capítulo 3, dichos residuos se denominaron residuos generados por el proceso, tal como ilustra el esquema de la figure 3.1. En este apartado se tratan los siguientes tipos de técnicas:

- técnicas para la reducción de residuos generados debido al tratamiento (analizados en cada uno de los apartados anteriores de este capítulo);
- gestión de los residuos generados debido al tratamiento, y
- técnicas centradas en la reducción de la contaminación del suelo.

4.8.1 Plan de gestión de residuos

Descripción

La minimización de residuos es un enfoque sistemático de la reducción de residuos en fuente, mediante la percepción y el cambio necesario de los procesos y actividades encaminados a evitar y reducir los residuos. Toda una serie de técnicas pueden clasificarse bajo el término general de minimización de residuos:

- técnicas de buenas prácticas básicas,
- técnicas de medición estadística,
- aplicación de tecnologías limpias,
- uso de residuos como combustible.

En concreto, algunas de las técnicas incluyen:

- a. la realización de un análisis de los lodos/torta de filtración para garantizar el cumplimiento continuado de los objetivos marcados en el proceso de tratamiento y el funcionamiento eficaz del proceso. Las tortas de filtración y los lodos de tratamiento suelen analizarse con menor frecuencia, pero un análisis podría permitir efectuar un cálculo del nivel de metales. Las tortas de filtración y los lodos de tratamiento no suelen resultar idóneos para el vertido, ya que no cumplen los criterios de la Directiva sobre vertederos;
- b. la identificación, caracterización y cuantificación de cada una de las corrientes residuales generadas y que deben ser eliminadas de las instalaciones. El mantenimiento de un sistema de localización de residuos puede ayudar a los operarios a registrar la cantidad, naturaleza, origen y, cuando proceda, el destino, frecuencia de recogida, modo de transporte y método de tratamiento de cualquier residuo desechado o recuperado en dicho centro;

- c. la identificación de los arreglos sobre manipulación actuales o propuestos;
- d. la descripción completa de cómo se propone valorar o eliminar cada corriente residual. En caso de eliminación, la explicación necesita justificar por qué la valorización no es técnica ni económicamente posible y después describir/explicar las medidas previstas para evitar o reducir el impacto en el medio ambiente;
- e. la verificación de que el contenido en sólidos secos no sea inferior al 15 peso-%, para facilitar la manipulación de la mezcla;
- f. la garantía del análisis de las acumulaciones de polvo que precisen eliminación, al objeto de asegurar la elección de la vía de eliminación correcta, por ejemplo, para el pH, DQO, metales pesados y otros contaminantes conocidos del vertido.

Entre algunas de las técnicas de minimización, se incluyen:

- g. el reciclaje de la torta de filtración derivada del tratamiento de soluciones ácidas y alcalinas y la precipitación del metal, ya que puede contener niveles porcentuales de metales como el cinc y el cobre con opciones de valorización de metales;
- h. el reciclaje de bidones contaminados. Pueden valorizarse bidones no dañados de 205 litros y RIG de 800 y 1000 litros mediante limpieza y reacondicionamiento. Los envases dañados que carezcan de mercado de reacondicionamiento y que contengan materiales no peligrosos podrán ser liberados en el mercado secundario de metales. Cuando sea posible, los envases vacíos que estén en buen estado y que carezcan, o que contengan sólo cantidades insignificantes, de materiales residuales deberán ser enviados para reacondicionamiento y reutilización o reciclaje;
- i. el empleo de recipientes multiutilizables en vez de bidones multiuso, si están disponibles;
- j. la utilización de residuos con suficiente contenido térmico y bajos valores de contaminación (véanse los apartados sobre sistemas energéticos) como combustible primario/secundario;
- k. la aplicación de operaciones consistentes en buenas prácticas, que pueden ser tan sencillas como barrer antes de fregar los suelos. Estas medidas pueden reducir sustancialmente los volúmenes de residuos.

Beneficios ambientales obtenidos

Las etapas anteriores ayudan a garantizar el uso prudente de los recursos naturales y pueden reducir la generación de residuos en las instalaciones de tratamiento de residuos. Reduce las emisiones procedentes de la gestión de los residuos manipulados en las instalaciones y minimiza la cantidad de residuos resultantes, y además ayuda a identificar una buena vía de eliminación.

Pueden aparecer contaminantes solubles en el eluyente con el agua eliminada mediante la operación del filtro prensa.

Efectos cruzados

La incineración de residuos puede producir mayores emisiones de aire que las derivadas del uso de combustibles convencionales.

Datos operativos

En relación con la técnica h (del apartado Descripción que figura más arriba), antes de reutilizar los bidones, deberán retirarse las etiquetas e inscripciones que contengan.

Aplicabilidad

El uso de residuos como combustible es común en las instalaciones de tratamiento de aceites usados.

La reutilización de embalajes y palés también depende de que el embalaje esté o no fabricado para ser reutilizado. En varios casos, dicha reutilización podría entrar en conflicto con los reglamentos ADR si el embalaje no se retroajusta adecuadamente.

En relación con la técnica h (del apartado Descripción que figura más arriba), el reciclaje de bidones deberá tener en cuenta la contaminación de los bidones con el contenido. Los bidones no aptos para reciclaje directo, por lo general, se someten al tratamiento apropiado, por ejemplo:

incineración. Por ejemplo, los bidones de polietileno se incineran por completo, los bidones de acero se limpian y normalmente se clasifican desde las escorias y posteriormente se reciclan. El vertido de bidones contaminados suele excluirse.

Aspectos económicos

Desde la perspectiva de gasto de capital y costes de explotación, el tratamiento de lodos es un componente significativo y la gestión y eliminación de residuos sólidos seguirá siendo una de las cuestiones más importantes con las que se enfrenten los operarios.

Motivo principal para su aplicación

La prevención y minimización de generación de residuos, así como la reducción de su peligrosidad es un principio general de la Directiva IPPC y de la jerarquía de residuos.

Los tipos de residuos producidos en cada centro, en muchos países, forman parte del proceso de concesión de permisos. El permiso también puede describir cómo almacenar dichos residuos y con qué frecuencia analizarlos.

La reutilización de bidones está restringida a casos en que los bidones todavía son aptos para servicio, de conformidad con los reglamentos ADR y pueden limpiarse fácilmente. Todos los restantes bidones deberán ser pretratados antes de poder reutilizar los desechos.

Instalaciones de ejemplo

En Alemania, el uso de bidones se ha reducido en la medida de lo posible.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004]

4.8.2 Técnicas para evitar la contaminación del suelo

Descripción

Estas técnicas se refieren a vertidos de agua y otras emisiones fugitivas, tal como ya se ha analizado en el apartado 4.1.3.6 y al desmantelamiento, tal como ya se ha analizado en el apartado 4.1.9. Algunas técnicas concretas incluyen:

- a. suministro y posterior mantenimiento de las superficies de las zonas operativas, incluyendo la aplicación de medidas para evitar o limpiar rápidamente las fugas y vertidos, y garantizar el mantenimiento de los sistemas de drenaje y otras estructuras subsuperficiales;
- b. empleo de una base impermeable y de drenaje interno en las instalaciones;
- c. aplicación de sistemas de drenaje y sumideros independientes para posibilitar el aislamiento de zonas concretas de las instalaciones donde se manipulen y almacenen residuos, al objeto de contener los posibles vertidos y proteger el drenaje del agua superficial de la contaminación. Este método puede contribuir a la reducción de emisiones líquidas;
- d. minimización del espacio de las instalaciones, así como del uso de colectores y canalizaciones subterráneos;
- e. realización de una supervisión periódica de los colectores subsuperficiales para detectar fugas potenciales (por ejemplo: comprobaciones del nivel de los colectores durante los períodos de inactividad);
- f. diseño de las zonas donde se transfieren los líquidos perjudiciales para el agua como muros de contención estancos. El muro de contención deberá ser estanco de manera que en caso de accidente, el líquido peligroso pueda contenerse hasta la instauración de medidas de seguridad;
- g. verificación de que las zonas donde se manipulan sustancias peligrosas para el agua, así como las áreas de aislamiento, estén especialmente selladas para evitar filtraciones, por ejemplo de pintura, revestimientos, calidad del hormigón y sistemas de sellado aplicados en

- el interior. Allí, el sistema de sellado deberá ser capaz de ser inspeccionado en cualquier momento;
- h. equipamiento de los contenedores utilizados para el almacenamiento/acumulación de materiales peligrosos para el agua, que deberán presentar dobles paredes de revestimiento o su colocación en depósitos de aislamiento. Su capacidad de volumen deberá cuantificarse de tal modo que pueda recogerse el volumen total del contenedor de mayor tamaño o el 10 % del volumen de todos los contenedores. En cada caso, el volumen superior es decisivo;
 - i. equipar los contenedores utilizados para el almacenamiento/acumulación de materiales peligrosos con controles de sobreflujo, vinculados por un relé de señal a la sala de control, así como a las señales ópticas y acústicas. Las bombas utilizadas para llenar los contenedores, así como los dispositivos de desconexión asociados (como válvulas de puerta corredera) deberían conectarse al control de sobreflujo.

Beneficios ambientales obtenidos

Pueden evitar la contaminación a corto y largo plazo de las instalaciones. La minimización de los colectores y conductos subterráneos facilita las tareas de mantenimiento, así como las inspecciones.

Efectos cruzados

En algunos casos se han identificado problemas como fisuras, salidas bloqueadas de los desagües, canales de drenaje de gravilla entre planchas de hormigón.

Aplicabilidad

La mayoría de instalaciones poseen una base impermeable y emplean un drenaje interno (por ejemplo: base completa de hormigón).

Motivo principal para su aplicación

La Directiva IPPC exige que, al llevar a cabo actividades industriales, las instalaciones no presente riesgo de contaminación. Algunas directivas de la UE y las legislaciones nacionales también son aplicables para evitar la contaminación del suelo.

Instalaciones de ejemplo

Se han publicado algunos ejemplos en los que, a pesar de que la mayor parte de las instalaciones contaban con una base impermeable y drenaje interno, su estado estaba en tela de juicio. Casi todas las estaciones de transferencia de residuos peligrosos poseen una base segura, que está cubierta con caídas que drenan el agua pluvial y vertidos líquidos/sólidos hacia uno o más depósitos de líquidos o interceptores.

Las instalaciones FQ suelen estar equipadas con sistemas herméticos para evitar vertidos que puedan producir contaminación de las aguas subterráneas o del subsuelo. Es de vital importancia para todas las medidas de protección de las emisiones técnicas la selección de materiales de construcción, que tienen que ofrecer alta resistencia, por ejemplo: frente a ácidos, álcalis y disolventes orgánicos (en función de la aplicación).

Bibliografía

[50, Scori, 2002], [55, UK EA, 2001], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [135, UBA, 2003], [150, GTT, 2004]

4.8.3 Técnicas para reducir la acumulación de residuos dentro de las instalaciones

Descripción

Algunas de las técnicas incluyen:

- a. realizar una clara distinción entre el personal comercial y técnico, así como de sus funciones y responsabilidades. Si el personal comercial no técnico participa en las consultas sobre

eliminación de residuos, después deberá efectuarse una evaluación técnica final previa a la aprobación. Es esta comprobación técnica final la que deberá emplearse para evitar una acumulación excesiva de residuos y garantizar la existencia de capacidad suficiente en la instalación. No son las corrientes comerciales las que regulan la llegada de residuos a las instalaciones, sino más bien debería existir una corriente concreta de coordinación, que implique asimismo la participación de personal técnico;

- b. evitar la acumulación de residuos, que pueden llevar a un deterioro o deformación del contenedor;
- c. llevar un inventario de control de los residuos in situ mediante el empleo de registros de la cantidad de residuos recibidos in situ y registros de los residuos procesados;
- d. confeccionar un inventario mensual de todos los residuos in situ para controlar los niveles de existencias e identificar cualquier residuo envejecido in situ;
- f. garantizar que cualquier acumulación de líquidos en muros de contención, sumideros, etc. sea gestionada puntualmente.

Beneficios ambientales obtenidos

En algunos centros estudiados, la incapacidad de garantizar una capacidad de procesamiento adecuada de los residuos se ha traducido en el almacenamiento de un gran número de residuos, bidones y contenedores. Los residuos implicados, por regla general, no se comprueban y los bidones simplemente suelen dejarse deteriorar. Dichas situaciones a menudo se asocian a limpiezas de instalaciones a gran escala y pueden ir acompañadas de presiones competitivas junto con la insistencia de los clientes de aceptar corrientes de residuos adicionales. En términos generales, los residuos afectados son difíciles de manipular o tratar y puede que hayan sido transferidos entre varios operadores, con la consiguiente pérdida de información acerca del productor y composición originales.

Las acumulaciones prolongadas también pueden comprometer los estándares relativos al mantenimiento de registros, que a su vez pueden acarrear la pérdida de identidad de los residuos, empeorando aún más la situación de almacenamiento.

Motivo principal para su aplicación

Normalmente en permisos operativos, la cantidad de las diferentes clases de residuos cuyo almacenamiento se autorizará está perfectamente definida. Generalmente, los operarios poseen capacidades limitadas en sus permisos y pueden tener que indicar el período de tiempo entre la recepción de los residuos y su tratamiento.

Bibliografía

[55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003]

4.8.4 Promoción del intercambio externo de residuos

Descripción

Mientras que la reutilización de un residuo en el interior de unas instalaciones de fabricación es la modalidad más deseable de reciclaje, no siempre es posible encontrar otro departamento o proceso que pueda utilizar el residuo de un modo eficaz. Una alternativa, por lo tanto, puede ser localizar otra empresa que pueda hacer uso del residuo. Un intercambio de residuos es una cámara de compensación regional para dichas transacciones. Los intercambios de residuos llevan unas bases de datos informáticas o publican listas periódicas de residuos disponibles o materiales buscados por varias industrias. La base de información de intercambio de residuos, por lo general, incluye:

- a. el código de identificación de la empresa,
- b. la categoría (por ejemplo: ácido, disolvente, etc.),
- c. la descripción de los ingredientes utilizables primarios,
- d. los contaminantes,
- e. el estado físico,

- f. la cantidad,
- g. la zona geográfica,
- h. el embalaje.

Beneficios ambientales obtenidos

Permite efectuar un uso o eliminación más apropiados de un residuo.

Bibliografía

[53, LaGrega, et al., 1994]

5 MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES

Para entender este capítulo y su contenido, se remite al lector al prefacio de este documento y, en concreto, al quinto apartado del prefacio: «Cómo entender y utilizar este documento». Las técnicas y los niveles de emisión o consumo asociados, o los intervalos de niveles, que se presentan en este capítulo han sido evaluados a través de un proceso iterativo que consta de las etapas siguientes:

- identificación de las cuestiones ambientales clave para el sector del tratamiento de residuos, que están relacionadas con las emisiones atmosféricas, al agua, los residuos, la contaminación del suelo y la energía. Sin embargo, debido a la variedad de tratamientos de residuos y tipos de residuos tratados en este documento no todos los tipos de emisiones son pertinentes para todos los tratamientos de residuos;
- examen de las técnicas más relevantes para abordar estas cuestiones clave;
- identificación de los niveles óptimos de rendimiento ambiental, a partir de los datos disponibles en la Unión Europea y en todo el mundo;
- examen de las condiciones bajo las cuales se alcanzaron estos niveles de rendimiento; como los costes, efectos cruzados, los motivos principales implicados en la implantación de estas técnicas;
- selección de las mejores técnicas disponibles (MTD) y los niveles de emisión o consumo asociados en relación con este sector en sentido general, todo ello según el apartado 11 del artículo 2 y el anexo IV de la Directiva.

El criterio experto de la Oficina Europea de IPPC y el grupo de trabajo técnico (GTT) han desempeñado un papel clave en cada una de estas fases y en el modo de presentar la información en este documento.

A partir de esta valoración, en este capítulo se presentan las técnicas, y en la medida de lo posible, los niveles de consumo y emisión asociados al uso de MTD, que se consideran adecuadas para el sector en conjunto y en muchos casos son un reflejo del rendimiento actual de algunas instalaciones dentro del sector. En los casos en que se presentan los niveles de emisión o consumo «asociados a las mejores técnicas disponibles», se entenderá que se refieren a aquellos niveles representativos del rendimiento ambiental que podría preverse como consecuencia de la aplicación, en este sector, de las técnicas descritas, teniendo presente el equilibrio entre los costes y las ventajas inherentes dentro de la definición de MTD. Sin embargo, no se trata de valores límite de emisiones ni de consumo y no deberían entenderse como tales. En algunos casos puede resultar técnicamente posible obtener unos mejores niveles de emisiones o consumo, pero debido a los costes implícitos o a consideraciones cruzadas, no se consideran apropiados como MTD para el sector a nivel global. No obstante, dichos niveles pueden considerarse justificados en casos más concretos en los que existen fuerzas motrices especiales.

Los niveles de consumo y emisión asociados al uso de MTD deben considerarse conjuntamente con cualquier condición de referencia especificada (como los períodos promedio).

El concepto de «niveles asociados a las MTD» descrito anteriormente deberá distinguirse del término «nivel alcanzable» utilizado en otras partes de este documento. Cuando un nivel se describe como «alcanzable» con el empleo de una técnica concreta o combinación de técnicas, debería entenderse como el nivel que cabe esperar alcanzar a lo largo de un período de tiempo sustancial en una instalación o proceso dotados de un buen mantenimiento y funcionamiento con el uso de dichas técnicas.

En los casos que han estado disponibles, se han facilitado los datos relativos a los costes junto con la descripción de las técnicas presentadas en los capítulos anteriores para darnos una indicación aproximada de la magnitud de los costes implícitos, aunque el coste real de la aplicación de una técnica dependerá en gran medida de la situación concreta en relación, por ejemplo, con las tasas, comisiones y características técnicas de la instalación en cuestión. No es

posible ofrecer una evaluación exhaustiva de los factores específicos de las instalaciones en este documento. En ausencia de datos relativos a costes, las conclusiones sobre la viabilidad económica de las técnicas se extraen de observaciones sobre las instalaciones existentes.

Se pretende que las MTD generales en este capítulo sean un punto de referencia con el que poder cotejar el rendimiento actual de las instalaciones actualmente operativas o de formular una propuesta relativa a una nueva instalación. De este modo, contribuirán a la determinación de las condiciones «basadas en las MTD» apropiadas para la instalación o en el establecimiento de reglas vinculantes generales en virtud del apartado 8 del artículo 9. Se prevé que las nuevas instalaciones puedan ser diseñadas para ofrecer un rendimiento igual o incluso mejor que los niveles generales de MTD que se presentan en este documento. También se considera que las actuales instalaciones podrían desplazarse hacia los niveles de MTD generales o tener un rendimiento mejor, con sujeción a la aplicabilidad técnica y económica de las técnicas en cada caso.

Mientras que los BREF no exponen unos estándares jurídicamente vinculantes, su objetivo consiste en dar información relativa a la orientación de la industria, los Estados miembros y el público sobre los niveles de consumo y emisión alcanzables con el empleo de unas técnicas concretas. Los valores límite apropiados para cualquier caso específico deberán determinarse teniendo en cuenta los objetivos de la Directiva IPPC y las consideraciones locales.

Durante la elaboración de este documento, se plantearon varias cuestiones importantes que fueron analizadas por el GTT cuyo conocimiento puede ayudar a los usuarios/lectores de este documento:

- debido a la naturaleza compleja del sector, se recomienda encarecidamente leer el capítulo 5 conjuntamente con el capítulo 4. Para ayudar al usuario/lector en esta materia, en el capítulo 5 se incluyen referencias cruzadas al capítulo 4;
- un sinfín de factores influye en las decisiones acerca de si una instalación de tratamiento de residuos debería aplicar cierta técnica de proceso o técnica de reducción de la contaminación. Factores como el tipo de tratamiento y el tipo de residuos procesados deberán tenerse en cuenta en el uso de este documento en el ámbito local;
- además de las MTD referenciadas en este capítulo, las MTD aplicables a una instalación de tratamiento de residuos también contendrán elementos de otros documentos IPPC y normas internacionales. En este contexto, se requiere especial atención a los documentos de referencia de MTD sobre emisiones de almacenamiento, sistemas de refrigeración industrial, aguas residuales y tratamiento de gases residuales/sistemas de gestión en el sector de los productos químicos, la incineración de residuos y el documento de referencia sobre los principios generales de monitorización;
- una instalación de tratamiento de residuos incluida en este documento sólo es una parte de toda la cadena de gestión de residuos. Los problemas suscitados en la circulación ascendente y la circulación descendente de una instalación de tratamiento de residuos tienen un enorme impacto en la instalación, por lo que influyen en su rendimiento ambiental;
- la gestión de residuos global conlleva muchos tipos diferentes de operaciones de tratamiento (cadenas de operaciones) que en último término llevarán a la valorización o eliminación, acciones que pueden estar excluidas del ámbito de este BREF. Por ejemplo, según la jerarquía de residuos, las operaciones destinadas a la valorización prevalecen sobre las de eliminación. Sin embargo, se ha notificado que en ciertas situaciones esta jerarquía puede que no sea la mejor elección ambiental, especialmente cuando se tiene en cuenta su efecto sobre una cadena de gestión de residuos completa (fuera del ámbito de este documento). Estas consideraciones, junto con los aspectos de tipo no ambiental, puede influir en la elección del tratamiento de residuos aplicado.

Ayudas para entender el resto de este capítulo

En este capítulo, las conclusiones de las MTD para el sector del tratamiento de residuos se exponen a dos niveles. El apartado 5.1 trata las conclusiones de las MTD genéricas, es decir, las generalmente aplicables a todo el sector. Si existen excepciones cuando las MTD no sean

aplicables en ciertas circunstancias o casos, esta cuestión se mencionará en la conclusión de las MTD. El apartado 5.2 contiene unas conclusiones más concretas sobre MTD, como las correspondientes a los diversos tipos de procesos y actividades concretos definidos en el ámbito. Así, la MTD para cualquier tipo de instalación de tratamiento de residuos concreta es la combinación de los elementos específicos de la inactividad aplicados al tratamiento de residuos (cuestiones genéricas u ordinarias) y los elementos específicos de la actividad aplicables al caso concreto y los restantes BREF mencionados anteriormente. Los valores de emisiones asociados al uso de MTD en este capítulo corresponden a promedios diarios.

Debido a la enorme variación existente en los distintos tipos de residuos que se tratan en este documento, es prácticamente imposible analizar todas las diferencias que pueden darse en la UE. Por este motivo, los residuos se clasifican en dos tipos en este capítulo. Uno trata los residuos no peligrosos que representan la base general de las MTD correspondientes al sector de residuos. El otro tipo corresponde a los residuos más peligrosos (por ejemplo: residuos tóxicos) donde pueden incluirse medidas adicionales como MTD. *Para ayudar al usuario/lector, las MTD relativas a los residuos tóxicos se indican en cursiva.*

Especialmente para este documento, las MTD se describen como cualitativas y se basan principalmente en la práctica vigente. Esto se debe a la falta de información sobre cuantificación de parámetros de rendimiento ambiental (como emisiones y consumos) a causa del hecho de que la mayoría de información disponible corresponde a valores límite de emisiones aplicados en ciertos países o regiones.

5.1 MTD genéricas

Gestión ambiental

Se trata de técnicas relativas a la mejora continua de rendimiento ambiental. Proporcionan el marco idóneo para garantizar la identificación, adopción y adherencia a las opciones de MTD que sin embargo siguen siendo importantes y pueden desempeñar un papel crucial en la mejora del rendimiento ambiental de la instalación. De hecho, estas buenas prácticas/herramientas de gestión ambiental suelen evitar las emisiones.

Una serie de técnicas de gestión ambiental se conocen como MTD. El ámbito (es decir, el nivel de detalle) y la naturaleza del sistema de gestión ambiental (SGA) (por ejemplo: estandarizado o no estandarizado) por lo general se relacionarán con la naturaleza, escala y complejidad de la instalación, y la gama de impactos ambientales que podría tener. Las MTD consisten en:

1. implantar y adherirse a un SGA que incorpore, según proceda en relación con las circunstancias individuales, las características siguientes (véase el apartado 4.1.2.8):
 - a. definición de política ambiental para la instalación por parte de la alta gerencia (los compromisos de los altos cargos se consideran una condición previa para el éxito en la aplicación de otras características del SGA);
 - b. planificación y establecimiento de los procedimientos necesarios;
 - c. implantación de los procedimientos, prestando especial atención a:
 - la estructura y la responsabilidad,
 - formación, concienciación y competencia,
 - comunicación,
 - implicación de los empleados,
 - documentación,
 - control de procesos eficiente,
 - programa de mantenimiento,
 - nivel de preparación y respuesta frente a eventuales emergencias,
 - salvaguarda del cumplimiento de la legislación ambiental.
 - d. comprobación del rendimiento y aplicación de medidas correctivas, prestando especial atención a:

- la monitorización y cuantificación (véase también el documento de referencia sobre principios generales de monitorización),
 - medidas correctivas y preventivas,
 - mantenimiento de registros,
 - auditoría interna independiente (cuando proceda) al objeto de determinar tanto si el sistema de gestión ambiental se ajusta a las disposiciones previstas como si ha sido debidamente instaurado y se lleva de un modo adecuado;
- e. análisis por parte de la alta gerencia.

Tres características adicionales, que pueden complementar la clasificación anterior, se consideran medidas de apoyo. Sin embargo, su ausencia por lo general es incoherente con las MTD. Estas tres etapas adicionales consisten en:

- f. el sometimiento del sistema de gestión y el procedimiento de auditoría a examen y validación por parte de un organismo de certificación acreditado o de un verificador de SGA externo;
- g. la preparación y publicación (y posiblemente validación externa) de una declaración ambiental regular que describa todos los aspectos ambientales significativos de la instalación, con el margen adecuado para la comparación interanual frente a los objetivos y metas ambientales, así como con las cotas de referencia sectoriales según proceda;
- h. la instauración y adherencia a un sistema voluntario de aceptación internacional como el EMAS o el EN ISO 14001:1996. Esta etapa voluntaria podría conferir mayor credibilidad al SGA. En concreto el EMAS, que engloba todas las características antes mencionadas, es la que ofrece mayor credibilidad. Sin embargo, los sistemas no estandarizados, en principio, pueden ser igualmente eficaces dado que están diseñados y puestos en práctica adecuadamente.

Concretamente para este sector industrial, también es importante analizar las siguientes características potenciales del SGA:

- i. tener en cuenta el impacto ambiental del eventual desmantelamiento de la unidad en la fase de diseño de un nuevo centro,
 - j. tener presente el desarrollo de tecnologías más limpias,
 - k. cuando sea practicable, fijar periódicamente cotas de referencia sectoriales, incluyendo actividades de eficacia energética y de conservación de energía, la elección de materiales de entrada, de emisiones al aire, de descargas al agua, de consumo de agua y de generación de residuos.
2. garantizar la provisión de detalles completos de la actividades efectuadas in situ. Un buen detalle de ello se incluye en la siguiente documentación (véase el apartado 4.1.2.7 y en relación con la MTD número 5.1.g);
- a. descripciones de los métodos y procedimientos de tratamiento de residuos vigentes en la instalación,
 - b. diagramas de las cuestiones de las instalaciones principales donde poseen cierta pertinencia ambiental, junto con los diagramas de flujo del proceso (esquematisados),
 - c. detalles de las reacciones químicas y su cinética de reacción/equilibrio energético,
 - d. detalles sobre la filosofía del sistema de control y el modo en que éste incorpora la información de control ambiental,
 - e. detalles sobre cómo se brinda protección durante las condiciones de funcionamiento anómalas como paradas momentáneas, reinicios y desconexiones,
 - f. un manual de instrucciones,
 - g. un diario operacional (en relación con la MTD número 3),
 - h. un estudio anual de las actividades llevadas a cabo y de los residuos tratados. El estudio anual también debería contener un balance de situación trimestral de los

residuos y de las corrientes residuales, con inclusión de los materiales auxiliares utilizados en cada punto (en relación con la MTD número 5.1.g);

3. disponer de un procedimiento de buenas prácticas de gestión ambiental operativo, que también incluya el procedimiento de mantenimiento y un programa de formación adecuado, que abarque las medidas preventivas que deberán tomar los trabajadores en cuestiones de salud y seguridad y los riesgos ambientales (véanse los apartados 4.1.1.4, 4.1.1.5, 4.1.2.5, 4.1.2.10, 4.1.4.8 y 4.1.4.3);
4. intentar mantener una relación estrecha con los productores/poseedores de residuos a fin de que en las instalaciones de los clientes se pongan en práctica medidas para producir la calidad requerida de residuos necesaria para el proceso de tratamiento de residuos a aplicar (véase el apartado 4.1.2.9);
5. contar con el personal suficiente, disponible y de servicio, con las cualificaciones requeridas en todo momento. Todo el personal debería someterse a un curso de formación laboral específico y cursar estudios superiores (véase el apartado 4.1.2.10. También relacionado con la MTD número 3)

Residuos de entrada

Para mejorar los conocimientos de los residuos de entrada, las MTD consisten en:

6. disponer de conocimientos específicos sobre los residuos de entrada. Dichos conocimientos deberán tener en cuenta los residuos de salida, el tratamiento a llevar a cabo, el tipo de residuos, el origen de los residuos, el procedimiento objeto de análisis (véanse las MTD números 7 y 8) y el riesgo (relativo a los residuos de salida y al tratamiento de residuos) (véase el apartado 4.1.1.1). Se ofrece orientación sobre algunas de estas cuestiones en los apartados 4.2.3, 4.3.2.2 y 4.4.1.2.
7. implantación de un procedimiento previo a la aceptación que contenga al menos los siguientes puntos (véase el apartado 4.1.1.2):
 - a. pruebas para los residuos entrantes con respecto al tratamiento previsto;
 - b. asegurarse de la recepción de toda la información necesaria sobre la naturaleza del proceso o procesos productores de residuos, incluyendo la variabilidad del proceso. El personal que deba gestionar el procedimiento de preaceptación deberá ser capaz, debido a su profesión o experiencia, de tratar todas las cuestiones necesarias pertinentes al tratamiento de los residuos en las instalaciones de TR;
 - c. un sistema para el suministro y análisis de una muestra o muestras representativas de los residuos del proceso de producción del titular actual;
 - d. un sistema para la verificación minuciosa, si no se trata directamente con el productor de residuos, de la información recibida en la fase de preaceptación, incluyendo los detalles de contacto relativos al productor de residuos y una descripción adecuada de los residuos con respecto a su composición y peligrosidad;
 - e. asegurarse de que se facilite el código de residuos según la lista europea de residuos (LER);
 - f. identificar el tratamiento apropiado para cada residuo a recibir en las instalaciones (véase el apartado 4.1.2.1) mediante la identificación de un método de tratamiento idóneo para cada nueva solicitud de residuos y tener instaurada una metodología clara para la evaluación del tratamiento de residuos que tenga en cuenta las propiedades físico-químicas de los residuos individuales y la especificaciones correspondientes a los residuos tratados.
8. implantar un procedimiento de aceptación que contenga al menos los siguientes puntos (véase el apartado 4.1.1.3):
 - a. un sistema claro y detallado que permita al operador aceptar los residuos en el centro receptor sólo si se determina un método de tratamiento y una vía de eliminación/valorización para la salida del tratamiento (véase la preaceptación en la MTD

- número 7). Con respecto a la planificación de la aceptación, es preciso garantizar que el almacenamiento necesario (véase el apartado 4.1.4.1), la capacidad de tratamiento y las condiciones de envío (por ejemplo: los criterios de aceptación de la salida por parte de la otra instalación) también se respeten;
- b. medidas instauradas para la documentación y operación totales con la llegada de residuos aceptables al centro, como el sistema de reserva, para garantizar que se disponga de suficiente capacidad;
 - c. unos criterios claros e inequívocos para el rechazo de residuos y el registro por escrito de todas las disconformidades;
 - d. un sistema que permita la identificación del límite máximo de capacidad de los residuos que pueden almacenarse en las instalaciones (en relación con las MTD número 10.b, 10.c, 27 y 24.b);
 - e. la inspección visual de los residuos de entrada para comprobar su cumplimiento con la descripción recibida durante el procedimiento de preceptación. *Esta MTD no es aplicable en el caso de algunos residuos líquidos y tóxicos* (véase el apartado 4.1.1.3);
9. implantar diferentes procedimientos de muestreo para todos los diferentes recipientes de residuos entrantes entregados a granel o en contenedores. Estos procedimientos de muestra pueden contener las siguientes partidas (véase el apartado 4.1.1.4):
- a. procedimientos de muestreo basados en un enfoque de riesgo. Entre algunos de los elementos a tener en cuenta, cabe citar el tipo de residuos (por ejemplo: peligrosos o no peligrosos) y el conocimiento del cliente (por ejemplo: productor de residuos);
 - b. comprobar los parámetros físico-químicos pertinentes. Los parámetros pertinentes están relacionados con los conocimientos de los residuos necesarios en cada caso (véase la MTD número 6);
 - c. registro de todos los materiales residuales;
 - d. disponer de diferentes procedimientos de muestreo para los contenedores a granel (líquidos y sólidos), grandes y pequeños y para los residuos de laboratorio. El número de muestras extraídas debería aumentar con el número de contenedores. En situaciones extremas, todos los contenedores pequeños deberán cotejarse con la documentación adjunta. El procedimiento debería contener un sistema para el registro del número de muestras y el grado de consolidación;
 - e. detalles del muestreo de residuos en bidones dentro de zonas de almacenamiento designadas, por ejemplo: la escala temporal después de la recepción;
 - f. muestra previa a la aceptación;
 - g. llevar un registro en las instalaciones del régimen de muestreo de cada carga, junto con un registro de la justificación para la selección de cada opción;
 - h. un sistema para la determinación y registro de:
 - un emplazamiento idóneo para los puntos de muestreo,
 - la capacidad del recipiente muestreado (para muestras de bidones, un parámetro adicional sería el número total de bidones),
 - el número de muestras y el grado de consolidación,
 - las condiciones operativas en el momento del muestreo.
 - i. un sistema para garantizar el análisis de las muestras de residuos (véase el apartado 4.1.1.5);
 - j. en el caso de temperaturas ambiente frías, podrá ser necesario un almacenamiento temporal al objeto de permitir el muestreo posterior a la descongelación. Esto podría afectar a la aplicabilidad de algunos de los elementos anteriores de esta MTD (véase el apartado 4.1.1.5);
10. disponer de una instalación de recepción que abarque al menos las cuestiones siguientes (véase el apartado 4.1.1.5):
- a. contar con un laboratorio para analizar todas las muestras a la velocidad requerida por las MTD. Por regla general, para ello es preciso disponer de un sistema de garantía de calidad y de unos métodos de control de calidad robustos y mantener unos registros idóneos para el almacenamiento de los resultados de los análisis.

Especialmente en el caso de los residuos peligrosos, esto suele significar que el laboratorio necesita estar localizado in situ;

- b. disponer de una zona específica de cuarentena para el almacenamiento de los residuos, así como de procedimientos escritos para la gestión de los residuos no aceptados. Si la inspección o el análisis indican que los residuos incumplen los criterios de aceptación (incluyendo, por ejemplo, bidones deteriorados, que presenten corrosión o no estén etiquetados), éstos podrán almacenarse temporalmente con seguridad en dicho espacio. Dicho almacenamiento y procedimientos deberían diseñarse y gestionarse para promover la rápida gestión (normalmente cuestión de días o menos) que permita encontrar una solución a estos residuos;
- c. disponer de un procedimiento claro que se ocupe de los residuos en aquellos casos en que la inspección o el análisis demuestren que no cumplen los criterios de aceptación de la instalación o que no se ajustan a la descripción de los residuos recibida durante el procedimiento previo a la aceptación. El procedimiento debería incluir todas las medidas requeridas por el permiso o la legislación nacional/internacional para informar a las autoridades competentes del almacenamiento seguro de la entrega durante cualquier período de transición o para rechazar los residuos y devolverlos a su productor o a cualquier otro destino autorizado;
- d. trasladar los residuos a la zona de almacenamiento sólo después de su aceptación (en relación con la MTD número 8);
- e. marcar las zonas de inspección, descarga y muestreo en un mapa de las instalaciones;
- f. disponer de un sistema de drenaje sellado (en relación con la MTD número 63);
- g. un sistema que garantice que el personal de las instalaciones que participe en los procedimientos de muestreo, comprobación y análisis esté debidamente cualificado y adecuadamente formado, así como la actualización periódica de la formación impartida (en relación con la MTD número 5);
- h. la aplicación de un identificador único al sistema de localización de residuos (etiqueta/código) a cada envase en esta etapa. El identificador contendrá al menos la fecha de llegada in situ y el código de los residuos (en relación con las MTD números 9 y 12).

Residuos de salida

Para mejorar los conocimientos de los residuos de salida, las MTD consisten en:

11. analizar los residuos de salida según los parámetros pertinentes importantes para las instalaciones receptoras (por ejemplo, vertedero, incineradora) (véase el apartado 4.1.1.1).

Sistemas de gestión

Las MTD consisten en:

12. tener instaurado un sistema que garantice la trazabilidad del tratamiento de residuos. Pueden precisarse diferentes procedimientos para tener en cuenta las propiedades físico-químicas de los residuos (por ejemplo, líquidos, sólidos), el tipo de proceso de TR (continuo, por lotes) así como los cambios que pueden producirse en las propiedades físico-químicas de los residuos cuando se lleva a cabo el TR. Un buen sistema de trazabilidad contiene los siguientes puntos (véase el apartado 4.1.2.3):
 - a. documentación de los tratamientos mediante diagramas de flujo y equilibrios másicos (véase el apartado 4.1.2.4; también relacionado con la MTD número 0.a);
 - b. llevar a cabo una trazabilidad de datos a través de varias etapas operativas (por ejemplo, preaceptación/aceptación/almacenamiento/tratamiento/envío). Pueden llevarse registros, que se mantendrán constantemente actualizados para reflejar las entregas, el tratamiento in situ y los envíos. Los registros suelen llevarse durante un mínimo de seis meses posteriores al envío de los residuos;
 - c. registro y referencia a la información sobre las características de los residuos y la fuente de la corriente residual, de manera que estén disponibles en todo momento.

Debe asignarse un número de referencia al residuo en cuestión, que deberá poderse obtener en cualquier momento del proceso para permitir al operador identificar dónde se halla un residuo concreto dentro de las instalaciones, el tiempo que lleva allí y la vía de tratamiento propuesta o real;

- d. disponer de una base de datos/serie de bases de datos informáticas, de las que se realizan copias de seguridad periódicas. El sistema de localización funciona como un inventario de residuos/sistema de control de existencias e incluye: la fecha de llegada in situ, detalles del productor de residuos, detalles de todos los titulares anteriores, un identificador único, resultados de los análisis de preaceptación y aceptación, tipo y tamaño de envase, tratamiento/vía de eliminación propuestos, un registro exacto de la naturaleza y la cantidad de los residuos mantenidos in situ, incluyendo todos los detalles peligrosos sobre la ubicación de los residuos en relación con un mapa de las instalaciones y en qué punto de la vía de eliminación designada se hallan actualmente los residuos;
 - e. sólo los bidones móviles y otros contenedores móviles entre diferentes ubicaciones (o cargados para su eliminación ex situ) siguiendo instrucciones del gestor adecuado, garantizando que el sistema de localización de residuos se modifique adecuadamente para registrar estos cambios (véase el apartado 4.1.4.8);
13. disponer de unas reglas de mezclado y aplicarlas, orientadas a restringir los tipos de residuos que pueden mezclarse juntos al objeto de evitar una mayor emisión de contaminación procedente de los tratamientos de residuos de circulación descendente. Estas reglas deberán tener en cuenta el tipo de residuos (por ejemplo: peligrosos, no peligrosos), tratamiento de residuos a aplicar, así como las etapas siguientes, que se aplicarán a los residuos de salida (véase el apartado 4.1.5);
 14. contar con un procedimiento operativo de segregación y compatibilidad (véase el apartado 4.1.5; también relacionado con las MTD números 13 y 24.c), incluyendo:
 - a. llevar registros de las pruebas, incluyendo cualquier reacción que dé lugar a parámetros de seguridad (aumento de temperatura, generación de gases o elevación de la presión); un registro de los parámetros operativos (cambio de la viscosidad y separación o precipitación de sólidos) y cualquier otro parámetro pertinente, como la generación de olores (véanse los apartados 4.1.4.13 y 4.1.4.14);
 - b. acondicionar los envases de productos químicos en bidones separados en función de su clasificación de peligrosidad. Los productos químicos que sean incompatibles (por ejemplo, oxidantes y líquidos inflamables) no deberían almacenarse en el mismo bidón (véase el apartado 4.1.4.6);
 15. Adoptar un enfoque que permita mejorar la eficacia del tratamiento de residuos, que por regla general incluye la localización de los indicadores idóneos para informar sobre la eficacia del tratamiento de residuos y un programa de supervisión (véase el apartado 4.1.2.4; también relacionado con la MTD número 5.1);
 16. elaborar un plan de gestión estructurado en caso de accidente (véase el apartado 4.1.7);
 17. disponer y utilizar adecuadamente un diario de incidencias (véase el apartado 4.1.7; también relacionado con la MTD número 5.1 y un sistema de gestión de calidad);
 18. disponer de una instalación de gestión de ruidos y vibraciones como parte del SGA (véase el apartado 4.1.8; también relacionado con la MTD número 5.1). Para algunas instalaciones de tratamiento de residuos, los ruidos y las vibraciones puede que no representen ningún problema de tipo ambiental;
 19. plantearse cualquier desmantelación futura en la fase de diseño. Para las instalaciones existentes y en aquellos casos en que se identifiquen problemas de desmantelamiento, instaurar un programa para minimizar estos problemas (véase el apartado 4.1.9; también relacionado con la MTD número 5.1.i).

Gestión de servicios públicos y de materias primas

Las MTD consisten en:

20. proporcionar un desglose del consumo y la generación de energía (incluyendo las exportaciones) por tipo de fuente (electricidad, gas, combustibles líquidos convencionales, combustibles sólidos convencionales y residuales) (véase el apartado 4.1.3.1; también relacionado con la MTD número 5.1.k). Esto implica:
 - a. publicar la información sobre el consumo energético desde la perspectiva de la energía suministrada,
 - b. informar de la energía exportada desde las instalaciones,
 - c. facilitar información sobre el flujo energético (por ejemplo, diagramas o equilibrios energéticos) que muestren cómo se utiliza la energía a través del proceso.
21. aumentar continuamente la eficacia energética de las instalaciones, mediante (véase el apartado 4.1.3.4):
 - a. el desarrollo de un plan de eficacia energética;
 - b. el empleo de técnicas que reduzcan el consumo energético y, por tanto, que reduzcan tanto las emisiones directas (calor y emisiones procedentes de la generación in situ) e indirectas (emisiones procedentes de una central eléctrica remota);
 - c. la definición y el cálculo del consumo energético específico de la actividad (o actividades), la fijación de unos indicadores de rendimiento clave con una periodicidad anual (por ejemplo, MWh/tonelada de residuos procesados) (relacionado con las MTD números 5.1.k y 20).
22. la fijación de una cota de referencia interna (por ejemplo, con una frecuencia anual) de consumo de materias primas (en relación con la MTD número 5.1.k). Se han identificado ciertas limitaciones a la aplicabilidad, que se mencionan en el apartado 4.1.3.5.
23. el análisis de las opciones para el uso de residuos como materias primas para el tratamiento de otros residuos (véase el apartado 4.1.3.5). Si los residuos se utilizan para el tratamiento de otros residuos, disponer de un sistema operativo que garantice la disponibilidad del suministro de residuos. Si esto no puede garantizarse, debería ponerse en práctica un tratamiento secundario u otras materias primas al objeto de evitar cualquier tiempo de tratamiento en espera innecesario (véase el apartado 4.1.2.2).

Almacenamiento y manipulación

Las MTD consisten en:

24. la aplicación de las técnicas siguientes relativas al almacenamiento (véase el apartado 4.1.4.1):
 - a. localizar zonas de almacenamiento:
 - alejadas de los cursos de agua y de perímetros sensibles, y
 - de tal modo que sea posible eliminar o minimizar la duplicación de la manipulación de residuos dentro de las instalaciones;
 - b. garantizar que la infraestructura de drenaje de la zona de almacenamiento pueda contener todas las posibles escorrentías contaminadas y que el drenaje procedente de residuos incompatibles no pueda entrar en contacto entre sí;
 - c. utilizar una zona específica de almacenamiento que esté equipada con todas las medidas necesarias relativas al riesgo específico de los residuos para su clasificación y reacondicionamiento de residuos de laboratorio o residuos similares. Estos residuos se clasifican según su clasificación de peligrosidad, con la debida consideración de cualquier problema de incompatibilidad potencial y su posterior reacondicionamiento. Posteriormente, se eliminan de la zona de almacenamiento adecuada;
 - d. manipular materiales olorosos en recipientes totalmente herméticos o idóneamente preparados para la reducción de las emisiones y almacenarlos en edificios cerrados conectados a dispositivos de reducción de la contaminación;

- e. garantizar que todas las conexiones entre los recipientes puedan ser cerradas mediante válvulas. Los conductos de sobreflujo deberán dirigirse a un sistema de drenaje contenido (como el área de aislamiento u otro recipiente);
 - f. contar con medidas disponibles para evitar la acumulación de lodos por encima de cierto nivel y la aparición de espumas que puedan afectar a dichas medidas en depósitos de líquidos, por ejemplo, controlando con regularidad los depósitos, succionando los lodos para someterlos al tratamiento posterior apropiado y utilizar agentes antiespumantes;
 - g. equipar los depósitos y recipientes con unos sistemas idóneos de disminución de las emisiones cuando puedan generarse emisiones volátiles, junto con medidores de nivel y alarmas. Estos sistemas deberán ser suficientemente robustos (capaces de trabajar si existen lodos y espuma) y ser objeto de mantenimiento periódico;
 - h. almacenar líquidos residuales orgánicos con un punto de inflamabilidad bajo en una atmósfera de nitrógeno para mantenerlos inertes. Cada depósito de almacenamiento se deposita en una zona de retención impermeabilizada. Los efluentes gaseosos se recogen y tratan;
25. aislar por separado la decantación de líquido y de las áreas de aislamiento con muros de contención impermeables y resistentes a los materiales almacenados (véase el apartado 4.1.4.4);
26. aplicar las siguientes técnicas relativas a los depósitos y etiquetado de los conductos del proceso (véase el apartado 4.1.4.12):
- a. etiquetar claramente todos los recipientes con respecto a su contenido y capacidad, y aplicarles un identificador único. Los depósitos deberán disponer de un sistema adecuado de etiquetado en función de su uso y contenido;
 - b. garantizar la distinción de las etiquetas entre aguas residuales y aguas de proceso, líquido combustible y vapor combustible y la dirección del flujo (de entrada o de salida);
 - c. llevar unos registros para todos los depósitos, detallando el identificador único; capacidad; su construcción, incluyendo los materiales; los planes de mantenimiento y resultados de inspección; accesorios para tuberías; y los tipos de residuos que pueden almacenarse/tratarse en el recipiente, incluyendo los límites del punto de inflamabilidad.
27. tomar medidas para evitar problemas que pudieran generarse por el almacenamiento/acumulación de residuos. Podría plantearse un conflicto con la MTD número 23 cuando los residuos se utilizan como reactivos (véase el apartado 4.1.4.10);
28. aplicar las siguientes técnicas en la manipulación de residuos (véase el apartado 4.1.4.6):
- a. disponer de sistemas y procedimientos para garantizar la transferencia segura de los residuos al lugar de almacenamiento adecuado;
 - b. tener instaurado un sistema de gestión para la carga y descarga de residuos en las instalaciones, que también tenga en consideración cualquier posible riesgo inherente a estas actividades. Algunas opciones posibles incluyen los sistemas de etiquetado, la supervisión por parte de personal de las instalaciones, claves o puntos/manguitos codificados por colores o accesorios para tuberías de un tamaño concreto;
 - c. garantizar la asistencia de una persona cualificada en el punto del poseedor de los residuos para comprobar los residuos de laboratorio, los residuos originales antiguos, los residuos de origen dudoso o los residuos no definidos (especialmente si están envasados en bidones), clasificar las sustancias en consecuencia y envasarlas en contenedores específicos. En algunos casos, los envases individuales puede que tengan que protegerse de daños mecánicos en el bidón con rellenos adaptados a las propiedades de los residuos envasados;
 - d. garantizar que los manguitos, válvulas y conexiones deteriorados no se utilicen;
 - e. recoger el gas de escape de recipientes y depósitos en la manipulación de residuos líquidos;

- f. descargar sólidos y lodos en áreas cerradas que estén equipadas con sistemas de ventilación extractiva unidos al equipo de reducción de las emisiones cuando los residuos manipulados puedan generar emisiones potenciales al aire (por ejemplo: olores, polvo, COV) (véase el apartado 4.1.4.7);
 - g. utilizar un sistema para garantizar que la carga a granel de diferentes lotes sólo tenga lugar con pruebas de compatibilidad (véanse los apartados 4.1.4.7 y 4.1.5; también relacionado con las MTD números 13, 14 y 30);
29. garantizar que el envasado a granel/mezclado en o desde residuos envasados sólo tenga lugar bajo instrucción y supervisión y se efectúe por personal especializado. En el caso de ciertos tipos de residuos, dicho envasado a granel/mezclado deberá realizarse bajo ventilación de escape local (véase el apartado 4.1.4.8);
30. garantizar que la segregación requerida durante el almacenamiento se rija por las incompatibilidades de los productos químicos (véanse los apartados 4.1.4.13 y 4.1.4.14; también relacionado con la MTD número 14);
31. aplicar las siguientes técnicas en la manipulación de residuos en contenedores (véase el apartado 4.1.4.2):
- a. almacenamiento de residuos en contenedores bajo cubierta. También puede aplicarse a cualquier contenedor que esté en almacenamiento pendiente de muestreo y vaciado. Se han identificado algunas excepciones a la aplicabilidad de esta técnica relativas a envases o residuos no afectados por las condiciones ambientales (como la luz del sol, la temperatura y el agua) (véase el apartado 4.1.4.2). Las zonas cubiertas deberán disponer de la ventilación adecuada;
 - b. mantenimiento de la disponibilidad y acceso a las zonas de almacenamiento para envases que contengan sustancias conocidas por su sensibilidad al calor, luz y agua, bajo cubierto y protegidos del calor y de la luz del sol directa.

Otras técnicas comunes no mencionadas anteriormente

Las MTD consisten en:

32. realizar las operaciones de triturado, pulverizado y tamizado en zonas equipadas con sistemas de ventilación extractiva unidos al equipo de reducción de las emisiones (véase el apartado 4.1.6.1) en la manipulación de materiales susceptibles de generar emisiones al aire (como olores, polvo y COV);
33. realizar las operaciones de triturado/pulverizado (véanse los apartados 4.1.6.1 y 4.6) bajo encapsulación completa y en una atmósfera inerte para los bidones/envases que contengan sustancias inflamables o altamente volátiles. Con esto se evitará la ignición. La atmósfera inerte deberá someterse a reducción de emisiones;
34. realizar procesos de lavado teniendo en cuenta (véase el apartado 4.1.6.2):
- a. la identificación de los componentes lavados que pueden hallarse presentes en las partidas a lavar (como disolventes);
 - b. la transferencia de lavados al almacenamiento apropiado y su posterior tratamiento del mismo modo que con los residuos de los que proceden;
 - c. el empleo de agua residual tratada de la instalación de tratamiento de residuos para el lavado en vez de utilizar agua potable. El agua residual resultante después podrá ser tratada en la PTAR o bien reutilizada en las instalaciones.

Tratamientos de emisiones al aire

Para evitar o controlar las emisiones principalmente de polvo, olores y COV y algunos compuestos inorgánicos, las MTD consisten en:

35. restringir el uso de depósitos, recipientes y cubetas no cubiertos:
- a. no permitiendo la ventilación directa o descargas al aire mediante la unión de todas las ventilaciones a unos sistemas de reducción de la contaminación idóneos en el almacenamiento de materiales susceptibles de generar emisiones al aire (por ejemplo: olores, polvo, COV) (véase el apartado 4.1.4.5);

- b. manteniendo los residuos o materias primas bajo cubierto o en envases impermeables (véase el apartado 4.1.4.5; también relacionado con la MTD número 31.a);
 - c. conectando el espacio de cabeza superior de los depósitos de sedimentación (donde el tratamiento del aceite es un proceso de pretratamiento dentro de la instalación de tratamiento de productos químicos) para el escape general de las instalaciones y las unidades de reactores (véase el apartado 4.1.4.1);
36. utilizar un sistema cerrado con extracción, o bajo depresión, en una instalación de reducción de la contaminación idónea. Esta técnica es especialmente adecuada para los procesos que implican la transferencia de líquidos volátiles, incluyendo durante las operaciones de carga/descarga de las cisternas (véase el apartado 4.6.1);
37. aplicar un sistema de extracción adecuadamente dimensionado que sea capaz de cubrir los depósitos de mantenimiento, las zonas de pretratamiento, los depósitos de almacenamiento, los depósitos de mezclado/reacción y las zonas de filtro prensa o tener instaurado un sistema independiente para el tratamiento de los gases de ventilación procedentes de depósitos específicos (por ejemplo, filtros de carbón activo de depósitos que contengan residuos contaminados con disolventes) (véase el apartado 4.6.1);
38. operar y mantener correctamente el equipo de reducción de la contaminación, incluyendo la manipulación y tratamiento/eliminación del medio del reactor gastado (véase el apartado 4.6.11);
39. disponer de un sistema de reactores para las principales liberaciones gaseosas inorgánicas de dichas operaciones de unidades que dispongan de una descarga puntual para las emisiones del proceso. Instalar a una unidad de reactor secundaria en determinados sistemas de pretratamiento si la descarga es incompatible, o está demasiado concentrada para los reactores principales (véase el apartado 4.6.11);
40. disponer de procedimientos de detección y reparación de fugas instaurados en las instalaciones a) que manipulan un gran número de componentes de tubos y de almacenamiento y b) compuestos que pueden presentar fugas con facilidad y crear un problema de tipo ambiental (por ejemplo, emisiones fugitivas, contaminación del suelo) (véase el apartado 4.6.2). Esto puede considerarse como un elemento del SGA (véase la MTD número 5.1);
41. reducir la emisión al aire a los siguientes niveles

Parámetro del aire	Niveles de emisiones asociados al uso de MTD (mg/Nm ³)
COV	7-20 ¹
Partículas	5-20
¹ Para bajas cargas de COV, el extremo más elevado del intervalo puede ampliarse hasta 50	

mediante el empleo de la combinación idónea de técnicas preventivas o de técnicas de reducción de emisiones (véase el apartado 4.6). Las técnicas mencionadas anteriormente en el apartado de las MTD para tratamientos de emisiones al aire (MTD números 35-41) también contribuyen a alcanzar estos valores.

Gestión de aguas residuales

Las MTD consisten en:

42. reducir el uso de agua y la contaminación del agua mediante (véanse los apartados 4.1.3.6 y 4.7.1):
- a. la aplicación de métodos de impermeabilidad y retención del almacenamiento in situ;
 - b. la realización de comprobaciones regulares de los depósitos y cubetas, especialmente cuando son subterráneos;

- c. la aplicación de drenaje de agua separado según la carga de contaminación (agua de tejados, agua de carreteras y agua de proceso);
 - d. la provisión de un depósito colector de seguridad;
 - e. la organización de auditorías periódicas sobre el agua, con el objetivo de reducir el consumo de agua y evitar su contaminación;
 - f. la segregación del agua del proceso del agua pluvial (véase el apartado 4.7.2; también relacionado con la MTD número 46);
43. disponer de procedimientos instaurados para garantizar que la especificación del efluente sea idónea para el sistema de tratamiento de efluentes in situ o su descarga (véase el apartado 4.7.1);
 44. evitar que el efluente se filtre en los sistemas de la instalación de tratamiento (véase el apartado 4.7.1);
 45. disponer de un sistema cerrado instaurado y operativo que permita recoger el agua de lluvia que caiga en las zonas de procesamiento junto con efluentes de lavado de cisternas, vertidos ocasionales, lavados de bidones, etc. y devolverlo a la instalación de procesamiento o recogerlo en un interceptor combinado (véase el apartado 4.7.1);
 46. segregar los sistemas de recogida de agua de las aguas potencialmente más contaminadas con respecto a las menos contaminadas (véase el apartado 4.7.2);
 47. poseer una base totalmente de hormigón en toda la zona de tratamiento, que vaya a parar a los sistemas de drenaje de las instalaciones internas que lleven a unos depósitos de almacenamiento o a interceptores que recojan el agua de lluvia y cualquier vertido. Los interceptores con un caudal por encima del rango de drenaje normalmente precisarán sistemas de monitorización automática, como comprobaciones del pH, que podrán interrumpir el exceso de caudal (véase el apartado 4.1.3.6; también relacionado con la MTD número 63);
 48. recoger el agua pluvial en un depósito especial para la comprobación, aplicación del correspondiente tratamiento en caso de que esté contaminada y uso posterior (véase el apartado 4.7.1);
 49. maximizar la reutilización de las aguas residuales tratadas y el uso del agua de lluvia en las instalaciones (véase el apartado 4.7.1);
 50. realizar comprobaciones diarias sobre el sistema de gestión de efluentes y llevar un registro de todas las comprobaciones efectuadas, a través de un sistema de supervisión de la descarga de efluentes y de la calidad de los lodos (véase el apartado 4.7.1);
 51. en primer lugar, identificar las aguas residuales que pueden contener compuestos peligrosos (por ejemplo: compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX); cianuros; sulfuros; compuestos aromáticos; benceno o hidrocarburos (disueltos, emulsionados o no disueltos); y metales, como el mercurio, cadmio, plomo, cobre, níquel, cromo, arsénico y cinc) (véase el apartado 4.7.2). En segundo lugar, segregar las corrientes de aguas residuales anteriormente identificadas in situ y, en tercer lugar, tratar específicamente las aguas residuales in situ o ex situ;
 52. en último término, después de la aplicación de la MTD número 42, seleccionar y llevar a cabo la técnica de tratamiento apropiada para cada tipo de agua residual (véase el apartado 4.7.1);
 53. implantar medidas que permitan aumentar la fiabilidad con la que llevar a cabo el control requerido y el rendimiento de la disminución de la contaminación (por ejemplo, optimizando la precipitación de metales) (véase el apartado 4.7.1);

54. identificar los componentes del producto químico principal del efluente tratado (incluyendo la composición de la DQO) y después realizar una evaluación informada del destino de estos productos químicos en el medio ambiente (véase el apartado 4.7.1 y las restricciones de aplicabilidad mencionadas);
55. descargar sólo las aguas residuales almacenadas tras la conclusión de todas las medidas de tratamiento y de la inspección final posterior (véase el apartado 4.7.1);
56. alcanzar los siguientes valores de emisión de agua antes de la descarga

Parámetro hídrico	Valores de emisión asociados al uso de MTD (ppm)
DQO	20-120
DBO	2-20
Metales pesados (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)	0,1-1
Metales pesados altamente tóxicos:	
As	<0,1
Hg	0,01-0,05
Cd	<0,1-0,2
Cr(VI)	<0,1-0,4

mediante la aplicación de una combinación adecuada de las técnicas mencionadas en los apartados 4.4.2.3 y 4.7. Las técnicas mencionadas anteriormente en este apartado sobre «gestión de aguas residuales» (MTD número 42-55) también contribuyen a alcanzar estos valores.

Gestión de los residuos generados por el proceso

Las MTD consisten en:

57. disponer de un plan de gestión de residuos (véase el apartado 4.8.1) como parte del SGA, incluyendo:
 - a. técnicas de buenas prácticas básicas (en relación con la MTD número 3),
 - b. técnicas de fijación de cotas internas (véase el apartado 4.1.2.8 también relacionado con las MTD números 5.1.k y 22);
58. maximizar el uso de envases reutilizables (bidones, contenedores, RIG, palés, etc.) (véase el apartado 4.8.1);
59. reutilizar los bidones cuando se hallen en buen estado de uso. En otros casos, se enviarán para someterse al tratamiento adecuado (véase el apartado 4.8.1);
60. llevar un inventario de supervisión de los residuos in situ mediante el uso de registros de la cantidad de residuos recibidos in situ y registros de los residuos procesados (véase el apartado 4.8.3 y también relacionado con la MTD número 27);
61. reutilizar los residuos de una actividad/tratamiento posiblemente como materia prima para otro (véase el apartado 4.1.2.6; también relacionado con la MTD número 23);

Contaminación del suelo

Para evitar la contaminación del suelo, las MTD consisten en:

62. el suministro y posterior mantenimiento de las superficies de las zonas operativas, incluyendo la aplicación de medidas para evitar o limpiar rápidamente las fugas y vertidos, y garantizar el mantenimiento de los sistemas de drenaje y otras estructuras subsuperficiales (véase el apartado 4.8.2);
63. utilizar una base impermeable y drenaje interno en las instalaciones (véanse los apartados 4.1.4.6, 4.7.1 y 4.8.2);

64. reducir el espacio de las instalaciones y minimizar el uso de colectores y canalizaciones subterráneos (véase el apartado 4.8.2; también relacionado con las MTD números 10.e, 25, y 40)

5.2 MTD para tipos concretos de tratamiento de residuos

En este apartado se presentan los elementos de las MTD para cada proceso/actividad analizado en este documento. Se ha estructurado de un modo similar a los capítulos anteriores.

Tratamientos biológicos

Las MTD consisten en:

65. utilizar las siguientes técnicas para el almacenamiento y la manipulación en sistemas biológicos (véase el apartado 4.2.2):
 - a. para residuos menos intensivos en olor, utilizar puertas con mecanismos automatizados de rápida acción (los tiempos de apertura de las puertas se mantendrán al mínimo) en combinación con un dispositivo de recogida del aire de escape adecuado que produzca subpresión en el recinto;
 - b. para residuos de olor muy intenso, utilizar búnker de alimentación cerradas construidas con un vehículo con esclusa de vaciado;
 - c. dotar y equipar la zona del búnker con un dispositivo de recogida del aire de escape;
66. ajustar los tipos de residuos y procesos de separación admisibles según el tipo de proceso llevado a cabo y la técnica de reducción de la contaminación aplicable (por ejemplo, en función del contenido en componentes no biodegradables) (véase el apartado 4.2.3);
67. emplear las siguientes técnicas en la aplicación de la digestión anaerobia (véanse los apartados 4.2.4 y 4.2.5):
 - a. aplicación de una integración estrecha entre el proceso con la gestión de agua;
 - b. un reciclaje de la cantidad máxima de aguas residuales al reactor. Véanse algunas cuestiones de tipo operativo que pueden aparecer al aplicar esta técnica en el apartado 4.2.4;
 - c. hacer funcionar el sistema en condiciones de digestión termofílica. En el caso de ciertos tipos de residuos, las condiciones termofílicas no pueden alcanzarse (véase el apartado 4.2.4);
 - d. cuantificar los niveles de COT, DQO, N, P y Cl en los flujos de entrada y de salida. Cuando se requiere un mejor control del proceso o una mejor calidad de los residuos de salida, se precisan más parámetros de medición y control;
 - e. maximizar la producción de biogás. Esta técnica debe considerar el efecto causado sobre la calidad del digestato y del biogás;
68. reducir las emisiones al aire del gas de escape al utilizar biogás como combustible, restringiendo las emisiones de polvo, NO_x, SO_x, CO, H₂S y COV mediante el empleo de una combinación adecuada de las siguientes técnicas (véase el apartado 4.2.6):
 - a. depuración del biogás con sales de hierro,
 - b. empleo de técnicas de-NO_x como RCS,
 - c. utilización de una unidad de oxidación térmica,
 - d. empleo de filtración de carbón activo;
69. mejorar los tratamientos mecánico-biológicos (TMB) (véanse los apartados 4.2.2, 4.2.3, 4.2.8, 4.2.10, 4.6.23):
 - a. mediante el empleo de biorreactores totalmente cerrados;
 - b. evitando que se produzcan condiciones anaerobias durante el tratamiento aerobio mediante el control de la digestión y el suministro de aire (utilizando un circuito de aire estabilizado) y adaptando la oxigenación a la actividad de biodegradación real;
 - c. utilizando agua de un modo eficiente;
 - d. aislando térmicamente el techo del recinto de degradación biológica en procesos aerobios;
 - e. minimizando la producción de gas de escape a niveles de 2500 a 8000 Nm³ por tonelada. No se han registrado niveles inferiores a 2500Nm³ por tonelada;
 - f. garantizando una alimentación uniforme;

- g. reciclando las aguas de proceso o los residuos con barro dentro del proceso de tratamiento aerobio para evitar por completo las emisiones de agua. Si se generan aguas residuales, deberían ser tratadas para alcanzar los valores mencionados en la MTD número 56;
 - h. realizando un aprendizaje continuo de la relación entre las variables controladas de la degradación biológica y las emisiones (gaseosas) cuantificadas;
 - i. reduciendo las emisiones de compuestos de nitrógeno optimizando la relación C:N;
70. reducir las emisiones de tratamientos mecánico-biológicos a los siguientes niveles (véase el apartado 4.2.12)

Parámetro	Gas de escape tratado
Olor (uoE/m ³)	<500-6000
NH ₃ (mg/Nm ³)	<1-20
Para COV y partículas, véase la MTD genérica 41 El GTT reconoció que el N ₂ O (véase el apartado 4.6.10) y el Hg también deben añadirse a esta tabla, sin embargo no se facilitaron datos suficientes para validar los valores relativos a estos puntos.	

- mediante el empleo de una combinación adecuada de las siguientes técnicas (véase el apartado 4.6):
- a. el mantenimiento de técnicas de buenas prácticas básicas (en relación con la MTD número 3),
 - b. oxidante térmico regenerativo,
 - c. eliminación de polvo;
71. reducir las emisiones al agua hasta los niveles mencionados en la MTD número 56. Además, restringir las emisiones al agua procedentes asimismo del nitrógeno, amoníaco, nitrato y nitrito totales (véase el apartado 4.7.7 y las conclusiones del capítulo 7).

Tratamientos físico-químicos

Con respecto al tratamiento físico-químico de aguas residuales, las MTD consisten en:

72. aplicar las siguientes técnicas en los reactores físico-químicos (véase el apartado 4.3.1.2):
- a. definir claramente los objetivos y la reacción química esperada para cada proceso de tratamiento;
 - b. evaluar cada nuevo conjunto de reacciones y mezclas propuestas de residuos y reactivos en un ensayo a escala de laboratorio antes del tratamiento de residuos;
 - c. diseñar específicamente y operar la vasija del reactor de manera que sea apta para su propósito previsto;
 - d. cerrar todos los recipientes de tratamiento/reacción y garantizar que se ventilen al aire a través de un sistema de depuración y disminución de emisiones adecuado;
 - e. supervisar la reacción para garantizar que esté bajo control y proseguir hacia el resultado previsto;
 - f. evitar la mezcla de residuos u otras corrientes que contengan metales y ligandos al mismo tiempo (véase el apartado 4.3.1.3);
73. además de los parámetros genéricos identificados con respecto a las aguas residuales en la MTD número 56, deberán identificarse parámetros adicionales para el tratamiento físico-químico de las aguas residuales. Se indican algunas referencias sobre este tema en las conclusiones del capítulo 7;
74. aplicar las siguientes técnicas para el proceso de neutralización (véase el apartado 4.3.1.3):
- a. garantizar la utilización de los métodos de cuantificación habituales,
 - b. almacenar por separado las aguas residuales neutralizadas,
 - c. realizar una inspección final de las aguas residuales neutralizadas una vez transcurrido un tiempo de almacenamiento suficiente;

75. aplicar las siguientes técnicas para contribuir a la precipitación de los metales en los procesos de tratamiento (véase el apartado 4.3.1.4):
- ajustar el pH hasta el punto de solubilidad mínima donde los metales se precipitarán,
 - evitar la entrada de ligandos, cromatos y cianuros,
 - evitar la entrada en el proceso de materias orgánicas que pudieran interferir con la precipitación,
 - permitir que el residuo tratado resultante sea clarificado mediante decantación cuando sea posible, o mediante la adición de otro equipo de deshidratación,
 - utilizar precipitación sulfídica en caso de que existan ligandos. Esta técnica puede aumentar la concentración de sulfuro en el agua residual tratada;
76. aplicar las siguientes técnicas a las emulsiones de disolución (véase el apartado 4.3.1.5):
- pruebas para detectar la presencia de cianuros en la emulsiones a tratar. En caso de presencia de cianuros, las emulsiones primero necesitarán un pretratamiento especial,
 - instauración de análisis de laboratorio simulados;
77. aplicar las siguientes técnicas a la oxidación/reducción (véase el apartado 4.3.1.6):
- reducción de las emisiones al aire generadas durante la oxidación/reducción,
 - disponer de medidas de seguridad y detectores de gas (por ejemplo, adecuados para la detección de HCN, H₂S, NO_x);
78. aplicar las siguientes técnicas a las aguas residuales que contengan cianuros (véase el apartado 4.3.1.7):
- destruir los cianuros por oxidación,
 - añadir sosa cáustica en exceso para evitar una disminución del pH,
 - evitar la mezcla de residuos de cianuro con compuestos ácidos,
 - supervisar la evolución de la reacción con electropotenciales;
79. aplicar las siguientes técnicas a las aguas residuales que contengan compuestos de cromo (VI) (véase el apartado 4.3.1.8):
- evitar la mezcla de residuos de Cr(VI) con otros residuos,
 - reducción de Cr(VI) a Cr(III),
 - precipitación del metal trivalente;
80. aplicar las siguientes técnicas a las aguas residuales que contengan nitritos (véase el apartado 4.3.1.9):
- evitar mezclar residuos de nitrito con otros residuos,
 - comprobar y evitar vapores nitrosos durante el tratamiento de oxidación/acidificación de nitritos;
81. aplicar las siguientes técnicas a las aguas residuales que contengan amoníaco (véase el apartado 4.3.1.11):
- con un sistema de agotamiento de aire de columna dual con un reactor ácido para los residuos con soluciones de amoníaco hasta 20 %-peso,
 - mediante recuperación del amoníaco en los reactores y su devolución al proceso antes de la fase de sedimentación,
 - a través de la extracción del amoníaco eliminado en la fase gaseosa mediante depuración de los residuos con ácido sulfúrico para producir sulfato de amonio,
 - por medio de la extensión de cualquier muestreo de aire del amoníaco en chimeneas de escape o zonas de filtros prensa para cubrir los COV en filtración y deshidratación (véase el apartado 4.3.1.12);
82. unir el espacio de aire por encima de los procesos de filtración y deshidratación al sistema de reducción de emisiones principal de la instalación (véase el apartado 4.3.1.12);

83. unir el espacio de aire por encima de los procesos de filtración y deshidratación al sistema de reducción de emisiones principal de la instalación (véase el apartado 4.3.1.16 para ciertas restricciones de aplicabilidad identificadas). Para evitar el uso de agentes de floculación, la evaporación es mejor en aquellos casos en que resulte económicamente viable (véase el apartado 4.7.6.1);
84. aplicar un chorro de agua a vapor o de alta presión de rápida limpieza para limpiar las aberturas del filtro de los procesos de tamizado (véase el apartado 4.3.1.17).

Para el tratamiento físico-químico de residuos sólidos, las MTD consisten en:

85. promover la insolubilización de metales atmosféricos y reducir la lixiviación de sales solubles tóxicas mediante la combinación idónea de lavado con agua, evaporación, recristalización y extracción ácida (véanse los apartados 4.3.2.1, 4.3.2.8, 4.3.2.9) cuando se utiliza la inmovilización para el tratamiento de residuos sólidos que contengan compuestos peligrosos para vertido;
86. analizar el grado de lixiviación de los compuestos inorgánicos, mediante el uso de procedimientos de lixiviación CEN estandarizados y con la aplicación del nivel de pruebas adecuado: caracterización básica, pruebas de cumplimiento o verificación in situ (véase el apartado 4.3.2.2);
87. restringir la aceptación de residuos a tratar mediante tratamiento de solidificación/inmovilización a aquéllos que no contengan niveles elevados de COV, componentes olorosos, cianuros sólidos, oxidantes, quelantes, residuos con alto contenido en COT y cilindros de gas (véase el apartado 4.3.2.3);
88. aplicar técnicas de control y cierre para la carga/descarga y los sistemas de transporte cerrados (véase el apartado 4.3.2.3);
89. tener instaurado un sistema o sistemas de disminución de emisiones para gestionar el flujo de aire, así como las cargas máximas asociadas a la carga y descarga (véase el apartado 4.3.2.3);
90. utilizar al menos un proceso de solidificación, vitrificación, licuación o fusión antes del vertido de residuos sólidos según las técnicas de los apartados 4.3.2.4 a 4.3.2.7.

Con respecto al tratamiento físico-químico del suelo contaminado, las MTD consisten en:

91. controlar la velocidad de excavación, la superficie de suelo contaminado que está expuesta y el tiempo durante el cual las pilas de suelo están descubiertas durante la excavación y eliminación de suelo contaminado (véase el apartado 4.3.2.10);
92. utilizar un ensayo a escala de banco para determinar la idoneidad del proceso a aplicar y las mejores condiciones operativas para su uso (véase el apartado 4.3.2.11);
93. disponer de un equipo de recogida y control como cámara de poscombustión, oxidantes térmicos, filtros de tela, carbón activo o condensadores para el tratamiento de los gases procedentes de tratamientos térmicos (véase el apartado 4.3.2.11);
94. registrar la eficacia alcanzada durante los procesos con respecto a los diferentes componentes reducidos y también para aquéllos que no se han visto afectados por el proceso (véase el apartado 4.3.2.3).

Valorización de materiales a partir de residuos

Para el rerrefinado de aceites usados, las MTD consisten en:

95. realizar un control minucioso de los materiales entrantes con el soporte del equipo analítico correspondiente (viscosimetría, infrarrojos, cromatografía y espectrometría de masas, según proceda), laboratorios y recursos (véase el apartado 4.1.1.1);
96. comprobar al menos los disolventes clorados y PCB (véanse los apartados 4.1.1.1 y 4.4.1.2);
97. utilizar la condensación como tratamiento para la fase gaseosa de la unidad de destilación de corta duración (véase el apartado 4.6.8);
98. disponer de unas líneas de retorno de vapor para la carga y descarga de vehículos, que dirijan todas las ventilaciones a un oxidante térmico/incinerador o a una instalación de adsorción de carbón activo (véanse los apartados 4.1.4.6, 4.6.7 y 4.6.14);
99. dirigir las corrientes de ventilación hacia un oxidante térmico con tratamiento de gases residuales si existen especies cloradas en la corriente de ventilación. En caso de que existan niveles elevados de especies cloradas, la condensación seguida de la depuración cáustica y un lecho protector de carbón activo constituyen la vía de tratamiento preferida (véase el apartado 4.6);
100. usar oxidación térmica a 850 °C con un tiempo de residencia de dos segundos para la ventilación de destilación al vacío de los generadores de vacío o para el aire de los calefactores del proceso (véase el apartado 4.6);
101. utilizar un sistema de vacío altamente eficiente (véase el apartado 4.4.1.1);
102. emplear los residuos procedentes de la destilación al vacío o evaporadores de película fina como productos derivados del asfalto (véase el apartado 4.4.1.15);
103. aplicar un proceso de rerrefinado de aceites usados que puede obtener un rendimiento superior al 65 % sobre una base seca (véanse los apartados 4.4.1.1 a 4.4.1.12);
104. alcanzar los siguientes valores en las aguas residuales descargadas de la unidad de rerrefinado (véase el apartado 4.4.1.14)

Parámetro de las aguas residuales	Concentración (ppm)
Hidrocarburos	<0,01-5
Fenoles	0,15-0,45
Con respecto a otros parámetros relacionados con el agua, remítase a la MTD número 56 del apartado de MTD genéricas	

con el uso de una combinación idónea de técnicas de proceso-integradas o tratamientos primario, secundario, biológico y de acabado (véanse los apartados 4.4.1.14 y 4.7).

Para el tratamiento de disolvente residual, las MTD consisten en:

105. realizar un control minucioso de los materiales entrantes con el soporte adecuado del equipo analítico, laboratorios y recursos (véase el apartado 4.4.1.1);
106. evaporar el residuo procedente de las columnas de destilación y recuperar los disolventes (véase el apartado 4.4.4.2);

Para la regeneración de catalizadores de residuos, las MTD consisten en:

107. utilizar filtros de mangas para reducir la emisión de partículas de los vapores generados durante el proceso de regeneración (véanse los apartados 4.4.3 y 4.6.5);
108. emplear un sistema de reducción de SO_x (véase el apartado 4.4.3.3).

Para la regeneración de carbón activo residual, las MTD consisten en:

109. disponer de un procedimiento eficaz de control de calidad para garantizar que el operador pueda distinguir entre el carbón utilizado para el agua potable o el carbón de calidad alimentaria y el resto de carbones agotados (los denominados «carbones industriales») (véase el apartado 4.4.4.2);
110. requerir un compromiso por escrito de los clientes que indique cuál ha sido el uso del carbón activo (véase el apartado 4.1.2.3; también relacionado con la MTD número 12.c);
111. utilizar un horno de combustión indirecta para los carbones industriales (puede argumentarse que éste podría ser igualmente aplicado a los carbones del agua potable). Sin embargo, los límites sobre la capacidad y la corrosión pueden estimar que sólo pueden emplearse hornos de soleras múltiples o de combustión rotatoria directa (véase el apartado 4.4.4.1);
112. utilizar una cámara de poscombustión con un mínimo de 1100 °C, dos segundos de tiempo de residencia y 6 % de exceso de oxígeno para la regeneración de carbones industriales, en aquellos casos en que es probable la presencia de sustancias halogenadas refractarias u otras sustancias térmicamente resistentes. En otros casos, basta con unas condiciones térmicas menos estrictas (véase el apartado 4.4.4.2);
113. utilizar una cámara de poscombustión con una temperatura mínima de 850 °C, dos segundos de tiempo de residencia y 6 % de exceso de oxígeno para el agua potable y los carbones activos de calidad alimentaria (véase el apartado 4.4.4.2);
114. aplicar un tren de tratamiento de gases de combustión compuesto por temple o venturi y secciones de depuración acuosa, seguida de un ventilador de tiro inducido (véase el apartado 4.4.4.2);
115. utilizar sosa cáustica o soluciones de depuración con ceniza de sosa para neutralizar los gases ácidos para las instalaciones de carbón industrial (véase el apartado 4.4.4.3);
116. disponer de una PTAR que contenga una combinación adecuada de floculación, sedimentación, filtración y ajuste de pH para el tratamiento de carbones de agua potable. Con respecto a los efluentes de los carbones industriales, la aplicación de tratamientos adicionales (por ejemplo, precipitación de hidróxido de metal y precipitación de sulfuro) se consideran también MTD (véase el apartado 4.4.3).

Preparación de residuos que serán utilizados como combustible

Para la preparación de residuos que serán utilizados como combustible, las MTD consisten en:

117. intentar mantener una relación estrecha con el usuario de combustibles residuales al objeto de poder realizar la transferencia adecuada de los conocimientos de la composición de los combustibles residuales (véase el apartado 4.5.1);
118. disponer de un sistema de garantía de calidad para garantizar las características de los combustibles residuales producidos (véase el apartado 4.5.1);
119. fabricar diferentes tipos de combustibles residuales según el tipo de usuario (como hornos de cemento, diferentes centrales eléctricas), el tipo de hogar (combustión en parrilla, alimentación por soplado) y el tipo de residuos utilizados para fabricar los residuos (residuos peligrosos, residuos sólidos municipales) (véase el apartado 4.5.2);
120. *al producir combustible residual a partir de residuos peligrosos, utilícese tratamiento de carbón activo para el agua de baja contaminación y tratamiento térmico para el agua altamente contaminada (véanse los apartados 4.5.6 y 4.7). En este contexto, el tratamiento térmico se refiere a cualquier tratamiento térmico del apartado 4.7.6 o incineración excluida del ámbito de este documento;*

121. *al producir combustible residual a partir de residuos peligrosos, asegúrese de efectuar un seguimiento correcto de las reglas relativas a los riesgos electrostáticos y de inflamabilidad por motivos de seguridad (véanse los apartados 4.1.2.7 y 4.1.7).*

Para la preparación de combustibles residuales sólidos a partir de residuos no peligrosos, las MTD consisten en:

122. *inspeccionar visualmente los residuos entrantes para separar las partes metálicas o no metálicas a granel con el propósito de proteger la instalación frente a posibles destrucciones mecánicas (véase el apartado 4.1.1.3; también relacionado con la MTD 8.e);*

123. *utilizar separadores magnéticos de metales ferrosos y no ferrosos a fin de proteger el granulador y asimismo poder cumplir los requerimientos de los usuarios finales (véanse los apartados 4.5.3.3 y 4.5.3.4);*

124. *aplicar la técnica NIR para la selección de plásticos con el propósito de reducir el cloro orgánico y algunos metales que conforman los plásticos (véase el apartado 4.5.3.10);*

125. *utilizar una combinación de sistemas de trituradoras y granuladores idóneo para la preparación del combustible residual del tamaño especificado (véanse los apartados 4.5.3.1 y 4.5.3.12).*

En el caso de algunas instalaciones que preparan combustibles residuales sólidos a partir de corrientes residuales separadas en fuente, puede que no se precise uso de la totalidad o parte de las técnicas antes mencionadas para cumplir con las MTD (véase el apartado 4.5.3.1).

Con respecto a la preparación de combustible residual sólido a partir de residuos peligrosos, las MTD consisten en:

126. *analizar los peligros de las emisiones y de inflamabilidad en caso de requerirse una operación de secado o calentamiento (véanse los apartados 4.1.2.7 y 4.5.4.1);*

127. *examinar la posibilidad de llevar a cabo las operaciones de mezclado en áreas cerradas dotadas de unos sistemas de control atmosféricos apropiados (véanse los apartados 4.1.4.5, 4.5.4.1 y 4.5.4.1);*

128. *utilizar filtros de mangas para la disminución de las emisiones de partículas (véase el apartado 4.6.26);*

En relación con la preparación de combustibles residuales líquidos a partir de residuos peligrosos, las MTD consisten en:

129. *utilizar unidades intercambiadoras de calor externas al recipiente si se requiere el calentamiento del combustible líquido (apartado 4.5.4.1);*

130. *adaptar el contenido en sólidos suspendidos para garantizar la homogeneidad del combustible líquido (véase el apartado 4.5.4.1);*

6 TÉCNICAS EMERGENTES

En este documento se entiende por «técnica emergente» una nueva técnica que aún no se ha aplicado comercialmente en ningún sector industrial. Este capítulo contiene aquellas técnicas que pueden aparecer en el futuro próximo y ser aplicables al sector del tratamiento de residuos.

[5, Concawe, 1996], [36, Viscolube, 2002], [30, Eklund, et al., 1997], [41, R.U., 1991], [81, VDI y Dechema, 2002], [90, Rogut, 2003], [101, Greenpeace, 1998], [122, Eucopro, 2003], [132, UBA, 2003], [141, Magistrelli, et al., 2002], [150, GTT, 2004], [152, GTT, 2004], [154, PNUMA, 2004]

Análisis en línea

Descripción

La técnica del análisis en línea es uno de los últimos avances en el ámbito analítico y de la garantía de calidad. Puede utilizarse para todas las aplicaciones relacionadas con la preparación de combustibles sólidos valorizados.

El análisis en línea se emplea para materiales triturados o no triturados con eliminación automática de aquéllos que no cumplen los criterios de calidad, como combustibles sólidos valorizados, especialmente cuando se superan los valores de cloro y bromo.

El modo de funcionamiento se basa en un nuevo análisis de fluorescencia de rayos X de gran velocidad, por lo que puede analizarse o detectarse una gran cantidad de materiales triturados o no triturados (según el rendimiento técnico y la determinación) por hora y eliminarse automáticamente por relevamiento del stock existente.

La configuración de la unidad de medida o el analizador tiene lugar directamente sobre un transportador. Un flujo material con la máxima uniformidad posible se dirige bajo la unidad de medida o el analizador y se analiza o mide.

Si se supera un valor límite, aparece una señal electrónica (digital o analógica). A continuación, controlado por un software o una unidad electrónica, el material no apto se descarta automáticamente (mecánica, hidráulica, neumática, electrostática o magnéticamente). La unidad de medida o el analizador pueden estar equipados con uno o más tubos de rayos X o uno o más detectores.

Como control adicional y garantía de la calidad del material entrante, también puede utilizarse una unidad manual. Ésta también se basa en el método de fluorescencia de rayos X y puede utilizarse especialmente para el análisis o detección de cloro, bromo y metales pesados.

Beneficios ambientales obtenidos

Los siguientes elementos pueden analizarse y detectarse con esta herramienta (según el equipo y el software): Cl, Br, Cd, Hg, Pb, As, Se, Ni, Sb, Cu, Ba, Cr, Sn, Mo, Zn, Sr, Fe, Co, Ti, V, Rb, Ir, Pt, Au, Ag, Pd, Nb, W, Bi, Mn, Ta, Zr, Hf, Re.

Efectos cruzados

Datos de funcionamiento

La herramienta está diseñada para ofrecer la mejor calidad de análisis en las condiciones más complicadas (el fango, la lluvia o el polvo no son un problema). La tecnología más avanzada ofrece la misma calidad que el laboratorio, independientemente del lugar, medida por medida, para cualquier material y sin estándares ni recalibrados.

Aplicabilidad

Esta herramienta parece ser en la actualidad el instrumento analítico manual más rápido y exacto para prácticamente todos los materiales que se reciclan (metales, plásticos, madera vieja, vidrio, tierra, lodo, metales no ferrosos...).

Bibliografía

[150, GTT, 2004]

Tiempos de degradación biológica en procesos de TMB

Los tiempos mínimos de degradación biológica necesarios para cumplir con los criterios de los vertederos con una fiabilidad de funcionamiento suficiente tendrán que ser determinados por las experiencias futuras con las nuevas instalaciones de TMB optimizados.

Inmovilización de cloruros de metales pesados

Un método para estabilizar residuos de metales pesados generados en el proceso de vitrificación de cenizas volantes se basa en la conversión en serie de cloruros de metales pesados con amonio dihidrógenofosfato ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$). Conversión de cloruros de metales pesados en fosfatos y su inmovilización en una matriz de vidrio de fosfato.

Estabilización de sulfato ferroso de residuos del TGC

Descripción

Esta estabilización implica un procedimiento de cinco pasos, en el que los materiales sólidos se mezclan en primer lugar con una solución de FeSO_4 y después se oxigenan con aire atmosférico a L/S 3 l/kg para oxidar Fe(II) en Fe(III) y condensar óxidos de hierro. Este paso también incluye la extracción de sales solubles. El pH de la suspensión se mantiene entonces a pH 10-11 durante media hora o una hora para que los metales pesados disueltos puedan ligarse con los óxidos de hierro. El cuarto paso del proceso es la deshidratación y, por último, hay un paso de lavado para intercambiar el agua que queda y eliminar las sales. El producto final estabilizado tiene un contenido en agua de aproximadamente el 50 %.

Beneficios ambientales obtenidos

La principal ventaja de este proceso de estabilización son las propiedades mejoradas de lixiviación del producto final. Las características de lixiviación del residuo saliente han resultado ser muy buenas, y se espera que la baja liberación de metales pesados pueda mantenerse durante mayores períodos de tiempo, puesto que se sabe que los óxidos de hierro perduran en períodos geológicos. El potencial de contaminación del residuo saliente se documenta con bastante detalle y se espera que el residuo saliente sea menos propenso a la desintegración física que los productos estabilizados con cemento, debido a que la mayoría de las sales se eliminan. Este proceso reduce la cantidad de residuo saliente a un 10 % aproximadamente del peso seco.

Efectos cruzados

Aún no se han demostrado estrategias de reutilización, pero se ha sugerido que el residuo saliente puede utilizarse en la construcción de carreteras tras un tratamiento térmico en la cámara de combustión de la incineradora. En la actualidad se están llevando a cabo actividades de investigación relacionadas con este asunto.

El proceso genera agua residual con un gran contenido de sales y concentraciones de metales relativamente bajas porque el Fe(II) está presente en la fase de extracción. El agua residual puede descargarse, en la mayoría de los casos, en un recipiente marino tras un tratamiento sencillo o puede desionizarse mediante cristalización.

Datos de funcionamiento

El proceso se ha demostrado a escala piloto en una planta lote de unos 200 kg de peso seco. Se han optimizado parámetros como el consumo de agua, la mezcla de agua y materiales, la tasa de oxidación del Fe(II), el tiempo de reacción, el pH y el control del pH. Se ha demostrado que el proceso es sólido respecto a las propiedades del residuo entrante, aunque es posible que se produzcan algunas variaciones en sus parámetros. Los datos típicos del proceso para una tonelada de residuo entrante son: 10 - 50 kg Fe, 20 - 50 minutos de oxigenación, 30 - 60 minutos de tiempo de reacción, H_2SO_4 o FeSO_4 como aditivo del control del pH, pH óptimo de

10 - 11 y un consumo de agua de 3 - 4 m³. En la configuración actual, la deshidratación del material tratado se realizó con una placa y un filtro prensa.

Aplicabilidad

La unidad de estabilización puede implantarse como una parte integrada de la incineradora, pero también puede existir como una instalación de tratamiento centralizada que gestione residuos de varias incineradoras. La técnica se ha demostrado en residuos del TGC, en cenizas volantes solas y en cenizas volantes combinadas con lodos de reactores húmedos (producto Bamberg); en todos estos casos con buenos resultados.

Aspectos económicos

Se calcula que el coste del tratamiento es de unos 65 euros por tonelada para una capacidad de instalación de 20.000 toneladas al año incluyendo los costes de inversión.

Motivo principal para su aplicación

El principal motivo para aplicar esta tecnología son las excelentes propiedades de lixiviación del residuo saliente y el hecho de que se espera que la duración sea a largo plazo.

Instalaciones de ejemplo

El proceso sólo se ha demostrado a escala piloto pero también se ha diseñado a escala completa. Las instalaciones a escala completa aún no se han implantado.

Bibliografía

[124, Iswa, 2003]

Estabilización de dióxido de carbono y fosfatos procedentes de residuos del TGC

Descripción técnica

Los agentes químicos utilizados aquí son CO₂ o H₃PO₄. Este proceso implica un procedimiento en dos fases en el que el residuo entrante se lava primero a L/S 3 l/kg para extraer las sales solubles. A continuación, el material se deshidrata y se vuelve a lavar en una placa y un filtro prensa a L/S 3 l/kg. Después los residuos se resuspenden y se añade el CO₂ o H₃PO₄. Las reacciones de estabilización se dejan transcurrir durante 1 – 1,5 horas a lo largo de las cuales el pH desciende, y durante otra hora más el pH se mantiene a aproximadamente pH 7.

Por último, los residuos se vuelven a deshidratar y se lavan en el filtro prensa con otros 3 l/kg. El producto final tiene un contenido en agua de aproximadamente el 50 %. El uso del CO₂ y el H₃PO₄ como agentes estabilizadores asegura que los metales pesados se combinan en forma de carbonos o fosfatos.

Beneficios ambientales obtenidos

Muestra muy buenas propiedades de lixiviación, similares a las de la estabilización Ferrox. Es bien sabido que los carbonatos y fosfatos metálicos generalmente presentan bajas solubilidades, y se espera que las características de lixiviación del residuo saliente continúen siendo buenas durante largos períodos de tiempo. El potencial de contaminación del residuo saliente se documenta con bastante detalle y se espera que la desintegración física del residuo saliente a largo plazo sea menos importante que en el caso de la estabilización del cemento, ya que la mayoría de las sales se eliminan. Los residuos salientes normalmente presentan mejores propiedades de lixiviación que los tratados con cemento. El proceso reduce la cantidad de material aproximadamente en un 15 % del peso seco.

Efectos cruzados

Aún no se han demostrado estrategias de reutilización. El proceso produce agua residual desde la primera fase de deshidratación. El resto del agua del proceso se recicla durante el propio proceso. El agua residual debe tratarse para los metales pesados disueltos en una unidad estándar, por ejemplo, mediante un ajuste del pH y añadiendo TMT.

Información sobre el funcionamiento

El proceso se ha demostrado a escala piloto en una planta lote de aproximadamente 200 kg de peso seco. Se han optimizado parámetros como el consumo de agua, la mezcla de agua y material sólido, adición de CO₂ y H₃PO₄, tiempo de reacción, pH y control del pH. Se ha demostrado que el proceso es sólido respecto a las propiedades del residuo entrante, aunque es posible que se produzcan algunas variaciones en los parámetros del proceso. Según la composición del residuo entrante, se han utilizado CO₂ o H₃PO₄ o ambos. También se ha demostrado que pueden utilizarse gases de combustión como fuente de CO₂.

Los datos típicos del proceso para 1 tonelada de residuo entrante son: 5 – 20 kg de CO₂, 0 – 40 kg de H₃PO₄ y 3 m³ de H₂O.

Aplicabilidad de la técnica

La unidad de estabilización puede implantarse como una parte integrada de la incineradora, pero también puede existir como una instalación de tratamiento centralizada que gestione residuos de varias incineradoras. La técnica se ha demostrado en residuos del TGC semisecos, en cenizas volantes solas y en cenizas volantes combinadas con lodos de reactores húmedos (producto Bamberg); en todos estos casos con buenos resultados.

Aspectos económicos

Se calcula que coste del tratamiento es de unos 80 euros por tonelada para una capacidad de instalación de 20.000 toneladas al año incluyendo los costes de inversión.

Motivo principal para su aplicación

El principal motivo para aplicar esta tecnología son las excelentes propiedades de lixiviación del residuo saliente y el hecho de que se espera que la duración sea a largo plazo.

Instalaciones de ejemplo

El proceso sólo se ha demostrado a escala piloto pero también se ha diseñado a escala completa. Las instalaciones a escala completa aún no se han implantado.

Bibliografía

[124, Iswa, 2003], [152, GTT, 2004]

Técnicas emergentes para extracción de vapores del suelo para su remediación

Se han probado a escala piloto enfoques como microondas, radiofrecuencia y calentamiento eléctrico, pero los resultados a escala completa aún no están disponibles.

Fitoextracción de metales del suelo

En el ámbito de la recuperación ambiental a través de procesos biológicos, la metodología conocida como fitorremediación goza cada vez de una mayor atención por parte de los operadores de este campo. La fitorremediación comprende varias técnicas empleadas para limpiar tanto el suelo como el agua. Para los suelos contaminados con metales, la fitoextracción constituye una de las mejores soluciones desde el punto de vista ambiental. A través de esta técnica, los metales se absorben y transportan desde el suelo hasta los tejidos recolectables de las instalaciones.

Tratamientos de residuos contaminados con COP

En la actualidad, este tipo de residuo se trata en la mayoría de los casos mediante incineración. No obstante, están surgiendo otros tipos de técnicas, tal y como se muestra a continuación en la tabla 6.1.

Técnica	Comentario
Decloración catalítica básica	Los compuestos organoclorados reaccionan con un polietileno glicol alcalino, formando éter glicólico o un compuesto hidroxilado, lo que requiere otro tratamiento y una sal. Se han identificado dioxinas entre los residuos del proceso. La eficacia de destrucción no es elevada.
Hidrogenación catalítica	Los compuestos organoclorados reaccionan con hidrógeno en presencia de catalizadores de metales nobles, lo que origina cloruro de hidrógeno e hidrocarburos ligeros.
Oxidación electroquímica	<p>A una temperatura baja y con presión atmosférica, los oxidantes generados electroquímicamente reaccionan con los compuestos organoclorados para formar dióxido de carbono, agua e iones inorgánicos con elevadas eficacias destructivas. En caso de que sea preciso, todas las emisiones y residuos pueden capturarse para ensayos y reprocesamientos.</p> <p>Se utiliza una celda electroquímica para generar especies oxidantes en el ánodo de una solución ácida, normalmente ácido nítrico. Estos oxidantes y el ácido atacan a cualquier compuesto orgánico, convirtiendo la mayoría de ellos en dióxido de carbono, agua e iones inorgánicos a baja temperatura (<80 °C) y baja presión atmosférica. Entre los compuestos que se han destruido con este proceso se incluyen hidrocarburos alifáticos y aromáticos, fenoles, compuestos organofosforados y organosulfurados y compuestos alifáticos clorados y aromáticos.</p> <p>Los datos que describen las concentraciones en residuos gaseosos, líquidos y sólidos de dioxinas y otros COP que se pueden formar en este proceso no estaban disponibles para su revisión.</p> <p>En la actualidad no se conoce aplicación industrial alguna.</p>
Oxidación por haz electrónico	
Oxidación electroquímica por cerio	Esta técnica emplea celdas electroquímicas para la generación del activo Cerio (IV) oxidante en el ánodo, un reactor en fase líquida para la destrucción orgánica primaria, un reactor en fase gaseosa para destruir cualquier emisión fugitiva del reactor líquido y un reactor de gas ácido para eliminar los gases ácidos antes de que salgan al aire. El proceso funciona a una temperatura baja (90 – 95 °C) y con presión atmosférica.
Oxidación electroquímica por plata	Este proceso utiliza plata (II) para oxidar flujos residuales orgánicos. Las reacciones tienen lugar en una celda electroquímica similar a la que se utiliza en la industria cloroalcalina. El proceso funciona a una temperatura baja (~90 °C) y con presión atmosférica.
Metal fundido	<p>Los compuestos organoclorados y otros materiales se oxidan en un depósito de metal fundido, lo que genera hidrógeno, monóxido de carbono, escoria cerámica y subproductos metálicos.</p> <p>En la actualidad existen instalaciones de diseño para cuatro clientes comerciales en los EE. UU.</p>
Sal fundida	Los compuestos organoclorados y otros materiales se oxidan en un depósito de sal fundida, lo que genera dióxido de carbono, agua, nitrógeno molecular y sales neutras. Las eficacias de destrucción pueden ser elevadas. Es adecuado para la destrucción de pesticidas pero no para el tratamiento de suelos contaminados.
Fotocatálisis	<p>Utiliza luz para activar un catalizador que oxide/reduzca los compuestos. Pueden destruirse una gran variedad de compuestos. Es útil para los residuos líquidos y gaseosos.</p>
Oxidación ultravioleta	

Tabla 6.1: Técnicas emergentes de destrucción de COP
[101, Greenpeace, 1998], [150, GTT, 2004], [154, PNUMA, 2004]

Técnicas emergentes para el tratamiento de aceites usados

En la actualidad, existen en todo el mundo numerosas actividades para mejorar las tecnologías existentes de reciclaje de aceites usados de lubricantes y crear otras nuevas. En la tabla que aparece a continuación se resumen dichas técnicas en desarrollo.

Técnica	Comentario
Proceso FILEA de C.E.A.	Filtración de CO ₂ supercrítica
Extracción de disolvente MRD	Extracción de disolvente de destilados a vacío de aceite usado de lubricante producidos por EPF con un disolvente selecto y de elevada eficacia (por ejemplo, NMP). Tecnología completamente libre de residuos de gran eficacia y flexibilidad y producción de aceites de base de gran calidad. Sus principales ventajas son: <ul style="list-style-type: none"> • reducción cuantitativa de HAP a un nivel no alcanzable por ninguna otra tecnología de rerrefinado (nivel ppb); • retención completa de los componentes de gran valor sintético del aceite de base cada vez más presentes en aceites utilizados, lo que da lugar a calidades muy altas de los aceites de base producidos. Se espera que esté en funcionamiento una unidad en Alemania en marzo de 2005.
Nueva tecnología Meinken	Se ha creado un nuevo proceso que aplica un nuevo absorbente a los destilados a vacío. El absorbente catalizador parece ser una arcilla activada. En la actualidad no se conoce aplicación industrial alguna.
Proceso Probex	
Proceso ROBYS™	Desintegración y estabilización catalítica para producción de gasóleo
Tratamientos supercríticos	Esta tecnología se aplica al desasfaltado y también al fraccionamiento. La predestilación y el hidrotatamiento no cambian respecto a la organización estándar de una unidad de DAP. <ul style="list-style-type: none"> • <i>Desasfaltado supercrítico</i>: la fracción asfáltica se separa por extracción con hidrocarburos ligeros (C₂/C₃) en condiciones supercríticas. El aceite clarificado se separa del medio de extracción y se fracciona en una columna estándar en condiciones de vacío. • <i>Fraccionamiento supercrítico</i>: el aceite clarificado de la unidad de desasfaltado supercrítico, aún mezclado con el medio de extracción, se separa directamente en dos o más cortes variando las condiciones físicas de la mezcla. Ambas tecnologías reducen los costes operativos y de inversión en comparación con las tecnologías de DAP estándar (fases 1 y 2). Se han creado dos proyectos de instalaciones piloto independientes.

Tabla 6.2: Tecnologías de tratamiento de aceites usados en desarrollo
[5, Concawe, 1996], [36, Viscolube, 2002], [150, GTT, 2004]

Regeneración de carbón activo

	Fase de desarrollo
<i>Tecnologías de regeneración de carbón activo</i>	
Regeneración biológica del carbón activo gastado	Actualmente en fase de investigación y desarrollo
Regeneración oxidativa	Actualmente en fase de investigación y desarrollo
<i>Nuevas técnicas de control de la contaminación para la disminución de emisiones</i>	
Absorbente de lecho fluidizado circulante	
Oxidación electrocatalítica de dióxido de sulfuro (el proceso ELCOX)	
Procesos electroquímicos	
Irradiación de gases de combustión	
Inyección de metanol	

Tabla 6.3: Técnicas emergentes que pueden aplicarse a la regeneración de carbón activo
[41, R.U., 1991], [150, GTT, 2004]

Preparación de combustible sólido a partir de mezclas orgánicas/acuosas

El proceso consiste en la preparación de un combustible para su uso en hornos de cemento. El proceso consiste en combinar las mezclas orgánico-acuosas con una estructura porosa de cal lechada para capturar los elementos orgánicos y utilizar dicho producto como materia prima en la industria del cemento. Esta técnica puede tratar residuos clínicos, residuos municipales, residuos peligrosos/químicos, residuos industriales no peligrosos y comerciales.

Técnicas emergentes para la preparación de residuos peligrosos para la valorización de energía

Nuevos absorbentes para la preparación de combustible residual sólido a partir de residuos peligrosos. Existe una investigación permanente sobre otros absorbentes para reemplazar el serrín fresco.

Desintegración de materiales poliméricos

Combustibles líquidos o gaseosos como los fuelóleos pesados también pueden sustituirse con un paso anterior para desintegrar el polímero residual en un líquido o un gas. La mayoría de los esfuerzos realizados en este campo no han progresado más allá de pruebas a escala piloto.

7 CONCLUSIONES

Desde la primera reunión, en el GTT ha resultado complicado tener el mismo concepto sobre qué actividades debe abarcar este documento. Estas distintas opiniones sobre lo que debería incluirse o no incluirse en el documento han dificultado el proceso y probablemente restringido el desarrollo en mayor medida del capítulo de MTD (véase «Recomendaciones para futuros trabajos» más adelante).

Según algunos, este documento debería abarcar todas las instalaciones de tratamiento de residuos disponibles en la actualidad en el sector. Esta opinión se basa en tres argumentos: en primer lugar, las características técnicas de dichos tratamientos adicionales son muy similares o incluso iguales a algunos de los tratamientos incluidos en este documento; en segundo lugar, sostienen que dichos asuntos pueden favorecer la competitividad de algunos tratamientos de residuos no incluidos en la IPPC, ya que puede permitirse a dichas instalaciones funcionar con unos estándares ambientales menos estrictos que los exigidos en las MTD; por último, puede interpretarse que, al no estar incluidos dichos tratamientos, no pueden determinarse MTD y no pueden operar bajo las condiciones de éstas. El ámbito de este documento no debería considerarse como un intento de interpretar la Directiva IPPC ni cualquier otra legislación sobre residuos.

En el anexo I de la Directiva IPPC se enumeran las instalaciones que abarca. Las instalaciones se derivan de los códigos de valorización/eliminación (R/D) que se mencionan en la Directiva marco sobre residuos (75/442/CEE). No obstante, es difícil distinguir entre los códigos R y D, puesto que están estrechamente relacionados. Por ejemplo, hay tratamientos de residuos que no se incluyen cuando se lleva a cabo un tratamiento R para un determinado residuo (por ejemplo, digestión aerobia para producir abono orgánico) pero que sí se incluyen al realizarse un tratamiento D (por ejemplo, digestión aerobia para vertederos). Esta cuestión causará dificultades en la implantación de la Directiva en determinadas instalaciones de tratamiento de residuos y es posible que origine conflictos de mercado, puesto que se exigirá a algunas instalaciones que posean un permiso IPPC y a otras no.

Algunos lectores han tratado de interpretar la estructura del documento como una herramienta para intentar distinguir entre algunos códigos R y D. Un ejemplo de ello sería la interpretación de los códigos R1, R9 y D10 para el tratamiento de aceites usados. Hay dos opciones principales (véase el apartado 2.4.1) para el tratamiento de estos aceites. Una es el rerrefinado de aceite usado (tratado en el apartado 2.4.1, en el epígrafe sobre valorización de materiales) y la otra es el tratamiento de aceite usado para generar un material que se utilizará principalmente como combustible. Esta última opción, en algunos casos, da lugar a materiales que pueden utilizarse como absorbente de naftaleno en la limpieza del gas de los hornos de coque, aceite para desmoldear o aceite de flotación. Estos tratamientos se incluyen en el apartado 2.5.2.4 cuando se utilizan como combustible. Debemos hacer hincapié en que este documento no interpreta en forma alguna ninguna legislación.

En el anexo I de la Directiva IPPC también se distingue entre el tratamiento de residuos peligrosos y no peligrosos. Este asunto supone una dificultad añadida para delimitar con claridad el ámbito y la estructura del documento. La cuestión es que se incluyen las instalaciones que tratan recursos peligrosos pero no aquéllas que tratan residuos no peligrosos.

Se han incluido algunos datos que no se consideran dentro del ámbito de este documento, mientras que otra información facilitada no se ha añadido (por ejemplo, el compostaje). Para evitar confusiones, se ha estimado oportuno conservar la información sobre estos asuntos que figuraba en el segundo borrador, pero restringiéndola a los capítulos 1-3. Un ejemplo es el tratamiento de cenizas de fondo (escoria) que se empleará como material de construcción en el apartado 2.3.3.15. También se acordó que algunos miembros del GTT revisarían determinados datos facilitados tras la segunda reunión del grupo. No obstante, el GTT no pudo cumplir el plazo acordado en la reunión, por lo que dicha información no se incluye en este documento. Los datos estaban relacionados con soluciones ácidas para tratamientos residuales, purificación

termal de lodos que contengan aceite, tratamiento termal de suelo contaminado, tratamiento de chorros de arena y tratamiento de asfalto que contenga alquitrán.

Se facilitó determinada información junto a los comentarios sobre el segundo borrador de este documento (véase el apartado de temporalización que figura más abajo). Como consecuencia de esto, no ha habido tiempo suficiente para una revisión paritaria completa. Esto quiere decir que algunas técnicas del capítulo 4 (por ejemplo, los apartados 4.1.4.11, 4.3.1.1, 4.3.1.19, 4.3.1.20, 4.3.1.21, 4.3.2.16, 4.3.3.3, 4.4.1.12, 4.4.2.1, 4.4.2.5, 4.5.2, 4.5.4.3) no han sido debidamente revisadas y valoradas para decidir si son elementos de MTD para el sector. No obstante, ahora se incluye parte de esta nueva información en el documento que probablemente no se facilitó en un momento anterior del proceso debido a la falta de claridad sobre el alcance del trabajo. La información incluida en esta categoría son algunos de los datos facilitados por los Países Bajos, Alemania y Cefic.

Este sector industrial de IPPC está muy regulado y la terminología empleada no es la misma en toda la UE. Además, existen diferentes interpretaciones del mismo término en distintos países, especialmente en los relacionados con la calificación de «valorización» y «eliminación». El glosario del presente documento es muy útil para resolver esta dificultad. En él se informa al usuario/lector sobre en qué sentido se ha utilizado en este documento cada palabra conflictiva identificada por el GTT. Este glosario no debe considerarse como una interpretación de legislación alguna y es posible que contradiga algunas definiciones de ciertas legislaciones nacionales. Para evitar que se produjeran algunas dificultades, en este documento se han intentado utilizar palabras «neutras» con el fin de evitar debates relacionados con los residuos como residuo frente a no residuo, recuperación frente a eliminación y peligroso frente a no peligroso.

Las técnicas analizadas en este documento son las más importantes para el sector, no obstante, al igual que en los documentos de referencia, se limitan a la información facilitada.

Temporalización del trabajo

El trabajo correspondiente a este documento se inició con la primera reunión plenaria del GTT, en febrero de 2002. En febrero de 2003 se redactó un primer borrador, seguido del segundo borrador en enero de 2004. Se celebró una reunión plenaria final del GTT en dos sesiones que tuvieron lugar en septiembre y octubre de 2004, tras las que se completó el documento. Así pues, todas las partes de este documento final han sido sometidas a una revisión paritaria del GTT.

Fuentes de información

En la elaboración de este documento se utilizaron más de 150 artículos informativos. Se emplearon varios informes de autoridades del sector y de Estados miembros como principales fuentes de información y sirvieron de ayuda para redactar el borrador, algunos de ellos se elaboraron específicamente para este documento. Sólo tres Estados miembros entregaron documentos de manera activa. Los demás únicamente facilitaron algunos datos al enviar sus comentarios sobre los dos borradores. Los informes presentados se centraban principalmente en tratamientos de residuos concretos y algunos sólo cubrían algunos tipos de residuos, abarcando así parcialmente el sector del TR. Para complementar esta información, se realizaron 35 visitas de campo a ocho países de la UE (Austria, Bélgica, Finlandia, Alemania, Italia, Países Bajos y España), 10 reuniones con redactores de permisos y proveedores de tecnología, y se asistió a seis congresos. Las consultas formales sobre los borradores también dieron lugar a la presentación de información nueva y adicional, así como a que el GTT tuviera la oportunidad de verificar la información ya facilitada.

Sobre el análisis de la información facilitada, hay que destacar que, especialmente en el caso de los tratamientos específicos, la información fundamental procedía de una fuente. Esto quiere decir que algunos de los apartados de este documento puede considerarse que representan a un país o que son opiniones parciales de algunos miembros del GTT. Esto ha suscitado la crítica de algunos miembros del GTT que consideran que varias conclusiones se basan en una

información escasa y ni siquiera son representativas de todo el sector de la UE. No obstante, las conclusiones de MTD sólo pudieron alcanzarse sobre la base de la información facilitada y se basan en el juicio experto del GTT.

El GTT está integrado por 110 expertos, 52 de los Estados miembros de la UE, 47 del sector industrial, dos de ONG ambientales, dos de Estados no miembros y siete de distintos servicios de la Comisión. No obstante, la asistencia a la segunda reunión del GTT fue baja considerando el número de miembros del GTT. Algunos Estados miembros decidieron no participar en la reunión final.

Grado de consenso alcanzado

Las conclusiones del trabajo se acordaron en la reunión plenaria final de septiembre-octubre de 2004 y se alcanzó un alto grado de consenso. Hubo unanimidad total sobre todas las conclusiones de MTD tal y como se presentan en este documento. No obstante, hay que destacar que existe desacuerdo entre el sector industrial (excepto una asociación) y un Estado miembro sobre el ámbito del presente documento (consúltense también los primeros párrafos del capítulo de conclusiones). Aseguran que debería aumentarse el ámbito del texto para que abarque todo el sector del TR, ignorando si el tratamiento está cubierto formalmente por la Directiva IPPC o no. Su opinión se basaba en los avances del sector de los residuos desde que se promulgaron la Directiva marco sobre residuos y la Directiva IPPC, así como en las distorsiones comerciales que pueden generarse debido a que sólo se abarca una parte del sector. Las instalaciones de compostaje se mencionaron como un buen ejemplo ilustrativo de los puntos anteriores.

Recomendaciones para trabajos futuros

El intercambio de información y el resultado de dicho intercambio, es decir, este documento, constituyen un paso importante para lograr la prevención y control integrados de la contaminación en el sector del tratamiento de residuos. Sin embargo, en algunos temas la información está incompleta y no permitió que se alcanzaran conclusiones de MTD. Por consiguiente, se considera que es un asunto muy importante en el que debemos centrarnos durante la revisión de este documento. Sería útil que los trabajos futuros se centraran en la recopilación de la siguiente información:

1. aclaración y ampliación del ámbito para incluir la mayoría, o todas, las actividades de tratamiento de residuos. Sería recomendable aclarar cuáles son las instalaciones cubiertas por la IPPC y restringir el uso de códigos R/D, así como las referencias sobre residuos peligrosos y no peligrosos. Algunos tratamientos de residuos que se destacaron como posibles buenos candidatos para ampliar el ámbito de este documento fueron el compostaje, materiales que se encuentren al final de su vida útil (incluyendo vehículos, frigoríficos, residuos electrónicos, tubos de rayos catódicos, elaboración de vidrios, fluorescentes que contengan mercurio, baterías, interruptores) y el tratamiento de escorias procedentes de procesos de combustión (por ejemplo, de incineración) para que se utilicen como material constructivo. Como consecuencia de dicha decisión, este documento no contiene MTD concretas para dichos procesos. No obstante, debemos señalar que algunos de estos procesos son relativamente similares a otros que ya se han incluido;
2. la remediación in situ no se incluye en este documento porque se consideró que excedía el ámbito de la IPPC. Se ha propuesto que se aclare si la remediación in situ debe ser incluida en este documento;
3. en el documento no se orienta sobre qué debe considerarse por «dilución». Es preciso un análisis mejor sobre qué se entiende por «dilución», lo que puede repercutir en gran medida sobre otras políticas de residuos. Sin embargo, al mismo tiempo, debe determinarse si es posible facilitar esta orientación dentro del marco de la Directiva IPPC porque, como se menciona en el capítulo sobre el ámbito, ésta se centra en instalaciones y no en la cadena completa de gestión de residuos. Es posible que cuando se analice el término «dilución» se tengan en cuenta otras consideraciones que excedan el ámbito de la IPPC;

4. no se hace suficiente referencia a los niveles actuales de emisión y consumo y al rendimiento de las técnicas que se considerarán a la hora de determinar las MTD. Esto ocurre en general en todo el documento. Así pues, se propone recopilar datos sobre este asunto para generar un documento de base mejor y aumentar el capítulo de MTD;
5. este documento no incluye los niveles de emisión asociados al uso de MTD para tratamientos físico-químicos de aguas residuales. Estos flujos residuales constituyen uno de los mayores volúmenes de Europa, pero existen carencias en la identificación de los valores para estos tratamientos. Se considera que el número de parámetros genéricos de aguas residuales identificados (es decir, DQO, DBO y metales pesados) en este sector es insuficiente para este tratamiento particular;
6. se ha detectado cierta falta de información sobre algunos temas tratados en este documento que ha limitado las conclusiones sobre MTD. Estos datos son:
 - tratamientos de remediación ex-situ;
 - tratamientos de mezclas y combinaciones. Este asunto se considera muy importante en el sector pero aún no se ha desarrollado correctamente. En el capítulo de MTD faltan conclusiones más extensas sobre este tema;
 - niveles de emisión cuando se utiliza biogás como combustible (algunos datos están disponibles en el BRF sobre GIC para instalaciones mayores de 50 MWth);
 - niveles de emisión de aguas residuales para tratamientos biológicos;
 - niveles de emisión de dioxinas, óxido nitroso y mercurio al aire procedentes de tratamientos mecánico-biológicos. Un Estado miembro consideró importante incluir el parámetro de las dioxinas en la tabla de MTD 70 del capítulo 5;
 - destrucción de COP. El convenio de Basilea facilita pautas técnicas para una gestión ambiental correcta de los residuos que consistan en, contengan o estén contaminados con PCB, PCT y PBB;
 - tratamientos de residuos que contengan mercurio;
 - tratamiento del amianto;
 - valorización de componentes de técnicas de disminución.

Temas sugeridos para futuros proyectos de I+D

El intercambio de información también ha puesto de relieve algunas áreas donde podrían obtenerse conocimientos útiles a partir de proyectos de investigación y desarrollo. Estas áreas guardan relación con los siguientes temas:

- estudios para consolidar el conocimiento de la definición de «dilución»,
- aclarar la distinción entre «valorización» y «eliminación» de residuos y definir, si es posible, la fase en la que se completa la valorización y el residuo se convierte en un producto comercializable.

La CE está lanzando y apoyando, a través de sus programas de IDT, una serie de proyectos relacionados con las tecnologías limpias, tecnologías emergentes de tratamiento y reciclaje de efluentes y estrategias de gestión. Potencialmente, estos proyectos podrían suponer una contribución muy útil para futuras revisiones BREF. Así pues, se invita a los lectores a informar a la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación sobre cualquier resultado de investigación que sea pertinente en el ámbito de este documento (véase también el prólogo del presente documento).

BIBLIOGRAFÍA

- 4 Langenkamp, H. (1997). «Workshop on co-incineration» Workshop on co-incineration, October 9-10, 1997, Belgirate (NO), Italy, EUR 18068 EN.
- 5 Concawe (1996). «Collection and disposal of used lubricant oil», Concawe, 5/96.
- 6 Silver Springs Oil Recovery Inc. (2000). «Regenerate used oils into basestocks or thermally crack them to fuels», Silver Springs Oil Recovery Inc., Calgary, Canadá.
- 7 Monier, V. y Labouze, E. (2001). «Critical Review of Existing Studies and Life Cycle Analysis on the Regeneration and Incineration of Waste Oils», CE-DG Medio Ambiente, Taylor Nelson Sofres y Bio Intelligence Service.
- 8 Krajenbrink, G. W.; Temmink, H. M. G.; Zeevalkink, J. A. y Frankenhaeuser, M. (1999). «Fuel and energy recovery», DG Energía y Transportes.
- 10 ANPA y ONR (2001). «Rapporto Rifiuti 2001», ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente) y ONR (Osservatorio Nazionale sui Rifiuti).
- 11 Jacobs, A. y Dijkmans, R. (2001). «BAT Treatment of Waste Oil», VITO, ISBN 90 382 0211 3.
- 12 Birr-Pedersen, K. (2001). «"Waste oil case study and cost-effectiveness analysis», Danish Environmental Protection Agency, M 126-0329.
- 13 Marshall, G.; Andrews, S.; Carter, M. y Dispain, G. (1999). «A CPSS for Waste Oil - An EA Discussion Paper», Environment Australia, Department of the Environment and Heritage.
- 14 Ministry for the Environment (2000). «Used Oil Recovery, Reuse and Disposal in New Zealand», Ministry for the Environment, ISBN 0-478-24008-2.
- 15 Pennsylvania Department of Environmental Protection (2001). «Don't mix solvents with waste oil», Pennsylvania Department of Environmental Protection, Bureau of Land Recycling & Waste management.
- 16 ÖWAV Working Committee (2002). «Position Paper of the ÖWAV Working Committee "Thermal Treatment". Distinction Criteria of Thermal Recovery - Disposal», ÖWAV Working Committee.
- 17 Eunomia Research & Consulting (2002). «Financing of Municipal Solid Waste Management», Eunomia, Cowi, Ecolas, Gua, LDK, TN Sofres, Tecnomia, Oeko-Institut e.V., Scuola Agraria del Parco di Monza, Jaakko Pöyry Infra, IVL, MC O'Sullivan & Co.
- 19 Brodersen, J.; Crowe, M.; Jacobsen, H. y Tsotsos, D. (2002). «Hazardous waste generation in EEA Member States. Comparability of classification systems and quantities», AEMA, ISBN 92-9167-408-7.
- 21 Langenkamp, H. y Nieman, H. (2001). «Draft CEN Report. Solid Recovered Fuel. Part I and II», Comité Europeo de Normalización, CR XXX:2001.
- 29 UK Environment Agency (1996). «Cleaning and regeneration of carbon», English Environment Agency, IPC Guidance Note, S2 5.03.

- 30 Eklund, B.; Thompson, P.; Inglis, A.; Wheelless, W., et al. (1997). «Air emission from the treatment of soils contaminated with petroleum fuels and other substances», USAEPA, EPA-600/R-97-116, octubre de 1997.
- 31 Greenpeace (2001). «How to comply with the Landfill Directive without incineration: A Greenpeace blueprint», Greenpeace, octubre de 2001.
- 32 DETR y DTI (2001). «Household Waste Management in the UK. Some examples of current practice», ETSU.
- 33 ETSU (1998). «An Introduction to Household waste management», DTI, Altener EC programme, marzo de 1998.
- 36 Viscolube (2002). «Reports and documents provided during the visit of the installation on 11 June 2002», Viscolube SpA.
- 37 Woodward-Clyde (2000). «Assessment of the effects of combustion of waste oil, and health effects associated with the use of waste oil as a dust suppressant», Woodward-Clyde, AA25080036.
- 39 Militon, C.; Becaud, K.; Cousin, A. y Heyberger, A. (2000). «Les centres collectifs d'élimination et de valorisation énergétique de déchets industriels dangereux», Ademe, 2-86817-559-7.
- 40 Militon, C. y Becaud, K. (1998). «Valorisation of industrial hazardous and non-hazardous waste in collective centers (Valorisation matiere de dechets industriels dangereux et non-dangereux en centres collectifs)», ADEME, ISBN 2-86817-365-9.
- 41 R.U., H. (1991). «Pollution Control for Chemical Recovery Processes», UK Department of the Environment, DoE/HMIP/RR/92/029.
- 42 R.U., H. (1995). «Pollution Control from Waste recovery Processes: Activated Carbon regeneration, Solvent recovery, Oil recovery and re-refining, ion exchange resin regeneration», Department of the Environment- HMIP, DOE/HMIP/RR/96/028.
- 46 Szabo (2002). «Information compiled on the experience of Lafarge cement on the co-incineration of waste in cement kilns», Lafarge Ciments.
- 50 Scori (2002). «Pre-treatment platform and regroupment of hazardous industrial waste», Scori.
- 51 Inertec; dechets, F. y Sita (2002). «Information on pre-treatment of hazardous waste before landfilling», TERIS.
- 52 Ecodeco (2002). «Compilation of information provided on waste treatment activities», Ecodeco.
- 53 LaGrega, M. D.; Buckingham, P. L. y Evans, J. C. (1994). «Hazardous waste management», McGraw-Hill, Inc, 0-07-019552-8.
- 54 Vrancken, K.; Torfs, R.; Linden, A. V. d.; Vercaemst, P. y Geuzens, P. (2001). «Evaluation of MSW rest fraction and non-specific category II waste treatment scenarios», Vito.
- 55 UK EA (2001). «Guidance for the recovery and disposal of hazardous and non-hazardous waste (other than by incineration and landfill)», UK Environmental Agency, SEPA, IPPC S5.06.

- 56 Babbie Group Ltd (2002). «Environment Agency pollution inventory. Guidance for reporting emissions from waste management operations», UK Environment Agency.
- 57 EIPPCB (2001). «Reference document on Best Available Techniques for the Cement and Lime production», EIPPCB, IPTS, JRC, CE.
- 58 CEFIC (2002). «Waste plastics Incineration & Energy recovery, Draft Nr. 3», APME-CEFIC.
- 59 Hogg, D.; Favoino, E.; Nielsen, N.; Thompson, J., et al. (2002). «Economic analysis of options for managing biodegradable municipal waste - Final report», informe de la CE.
- 60 Azkona, A. y Tsotsos, D. (2000). «Information about waste management facilities in EEA member countries», Agencia Europea de Medio Ambiente, informe técnico N.º 43.
- 61 Weibenbach, T. (2001). «Waste management facilities», Agencia Europea de medio Ambiente, informe técnico N.º 65.
- 62 EIPPCB (2003). «Reference document on Best Available Techniques for Large Volume Inorganic Chemicals - Acids, Amonia and Fertilisers», EIPPCB, IPTS, JRC, CE.
- 63 EIPPCB (2002). «Reference document on BAT for Common Waste water and Waste Gas Treatments and Management Systems in the Chemical Industry», EIPPCB, IPTS, JRC, CE.
- 64 EIPPCB (2003). «Reference document on BAT for Large Combustion Plants», EIPPCB, IPTS, JRC, CE.
- 65 AEMA (2003). «Bulk emission factors for off-road transport running on diesel», Agencia Europea de Medio Ambiente, http://eionet.eea.eu.int/aegb/cap08/b810_8.htm.
- 66 GTT (2003). «Questionnaires on Waste Treatments», Comisión Europea.
- 67 DETR (2001). «UK Waste Oils Market», Lubrizol Corporation.
- 68 EIPPCB (2003). «Reference document on Monitoring systems», EIPPCB, IPTS, JRC, CE.
- 69 Schaltegger, S. y Wagner, M. (2002). «*Umweltmanagement in deutschen Unternehmen - der aktuelle Stand der Praxi*»".
- 70 UNI/ASU (1997). «*Umweltmanagementbefragung - Öko-Audit in der mittelständischen Praxis - Evaluierung und Ansätze für eine Effizienzsteigerung von Umweltmanagementsystemen in der Praxi*», Unternehmerinstitut / Arbeitsgemeinschaft Selbständiger Unternehmer.
- 71 IAF (2003). «Costs of external accreditation systems», Foro de Acreditación Internacional, <http://www.iaf.nu>.
- 72 CE (2001). «Regulation (EC) No 761/2001 of the European parliament and of the council allowing voluntary participation by organisations in a Community eco-management and audit scheme (EMAS) , (OJ L 114, 24/4/2001)», Comisión Europea, http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index_en.htm.

Bibliografía

- 73 ISO (1996). «EN ISO 14001:1996», Organización Internacional de Normalización, <http://www.iso.ch/iso/en/iso9000-14000/iso14000/iso14000index.html> y <http://www.tc207.org>.
- 74 ENDS (2002). «EU to ban nonylphenols and chromium cement», *Environment Daily*, 22/08/02.
- 75 UNECE «UNECE Task force on Emission Inventories», ONU.
- 76 AEMA (2003). «CORINAIR90 inventory», Agencia Europea de Medio Ambiente, <http://www.aeat.co.uk/netcen/corinair/corinair.html>.
- 77 Klemisch, H. y Holger, R. (2002). «Umweltmanagementsysteme in kleinen und mittleren Unternehmen - Befunde bisheriger Umsetzung», KNI Papers 01 / 02, enero de 2002, p 15.
- 78 Clausen, J.; Keil, M. y Jungwirth, M. (2002). «The State of EMAS in the EU. Eco-Management as a Tool for Sustainable Development - Literature Study», Institute for Ecological Economy Research (Berlin) and Ecologic - Institute for International and European Environmental Policy (Berlin).
- 80 Petts, J. y Eduljee, G. (1994). «Environmental impact assessment for waste treatment and disposal facilities», 0-471-94112-3.
- 81 VDI y Dechema (2002). «The Future of Waste Management in Europe».
- 83 Indaver (2002). «Brochure of services provided by the company».
- 86 GTT (2003). «Comments from TWG to the First Draft».
- 89 Alemania, U. (2003). «Slag treatment facilities», UBA Alemania.
- 90 Rogut, S. (2003). «FuelCal waste processing technology», Multichem Eko.
- 91 Syke (2003). «Information provided during visit to Finland», Syke.
- 92 AEMA (2002). «Review of selected waste streams: Sewage sludge, construction and demolition waste, waste oils, waste from coal-fired power plants and biodegradable municipal waste», Agencia Europea de Medio Ambiente.
- 94 USA DoE (2002). «ARI technologies Asbestos Destruction», National Energy Technology Laboratory (NETL), Tech ID 3114.
- 95 CAR/PL (2003). «Regional plan for reduction by 20% by 2007 of the generation of hazardous waste from industrial installations in the MAP countries», CE - Plan de Acción para el Mediterráneo.
- 96 Straetmans, B. (2003). «Lubricants of the future. The future of re-refining», Sita.
- 99 Fons-Esteve, J.; Tarvainen, T.; Schmidt-Tomé, P.; Wepner, M. y Schamann, M. (2002). «Expert meeting on indicators for soil contamination», *Sevilla*.
- 100 PNUMA (2000). «Survey of currently available non-incineration PCB destruction technologies», ONU.
- 101 Greenpeace (1998). «Technical criteria for the destruction of stockpiled persistent organic pollutants», Greenpeace, ISBN 90-73361-47-8.

- 113 COWI A/S (2002). «Heavy metals in Waste», Comisión Europea, DG Medio Ambiente. E3, proyecto ENV.E.3/ETU/2000/0058.
- 114 Hogg, D. (2001). «Costs for municipal waste management in the EU», Eunomia.
- 116 Irish EPA (2003). «Draft BAT guidance notes for the waste sector: waste treatment activities», Irish EPA.
- 117 DG Medio Ambiente (2001). «Biological treatment of biowaste. Second Draft», CE.
- 119 Watco (2002). «Information provided during the installation visit in Belgium», Sita.
- 120 Prantner (2002). «Catalytic air treatment systems», Prantner.
- 121 Schmidt, W. y el Institute for environmental and waste management (2002). «Reference document on best demonstrated available techniques in waste treatments. Chemical/Physical treatment plants», BDE - AGS.
- 122 Eucopro (2003). «Hazardous waste preparation for energy recovery», Eucopro.
- 123 Perseo, P. (2003). «Soil washing. Technology description», FEAD.
- 124 Iswa (2003). «APC residue management. An overview of important management options», Iswa.
- 125 Ruiz, C. (2002). «Document on good environmental practices in the catalyst recovery sector», EIPPCB.
- 126 Pretz; Khoury; Uepping; Glorius y Tubergen (2003). «BREF "Waste treatment". Solid recovered fuels», RWTH-Aachen I.A.R., European Recovered Fuel Organisation (Erfo).
- 127 Oteiza, J. M. (2002). «Information on the production of waste in Spain», GTT, comunicación personal.
- 128 Ribi, J. (2003). «Information collected about the WT market in Malta», Ministry for resources and Infrastructure. Works Division.
- 129 Cruz-Gomez, M. J. (2002). «Draft document on good environmental practices in the waste solvent recovery sector», EIPPCB.
- 130 UBA (2003). «German comments to the draft BREF on Waste Treatments. Treatment of waste solvents», UBA, Ecologic.
- 131 UBA (2003). "German comments to the Draft BREF on Waste Treatments. General waste management", UBA, Ecologic.
- 132 UBA (2003). «German comments to the Draft BREF on Waste Treatments. Mechanical biological treatments», UBA, Ecologic.
- 134 UBA (2003). «German comments to the Draft BREF on Waste Treatments. Waste water management», UBA, Ecologic.
- 135 UBA (2003). «German comments to the Draft BREF on Waste Treatments. Physico-chemical treatments», UBA, Ecologic.

- 136 Straetmans, B. (2003). «Stabilisation/Solidification», Sita.
- 138 Lanfranchi, B. (2003). «Biological treatment of polluted soil», FNADE.
- 139 UBA (2003). «German comments to the Draft BREF on Waste Treatments. Waste oil», UBA, Ecologic.
- 141 Magistrelli, P.; Bregante, M.; Robertis, S. d.; Martella, L. y Paganetto, A. (2002). «Decontamination of metal polluted soils by phytoextraction», CNR.
- 144 GTT (2002). «Note for the clarification of the scope of regeneration of sulphuric acid for the BREF on waste treatments, waste incineration, and large volume inorganic chemicals», GTT.
- 146 Galambos, L. y McCann, M. (2003). «Photographic processing hazards», Silver-Select Kft.
- 147 UBA (2003). «German proposals to the first draft BREF on Waste Treatments. Proposals for BAT for BREF Chapter 5», UBA, Ecologic.
- 150 GTT (2004). «Comments to the second draft of the WT BREF».
- 151 EIPPCB (2003). «Reference document on BAT on Emissions from Storage», IPTS.
- 152 GTT (2004). «2nd plenary TWG meeting on Waste Treatments», *Sevilla, oct-nov de 2004*.
- 153 GTT (2005). «Comments from TWG to Executive summary, concluding remarks and second draft of chapter 5».
- 154 PNUMA (2004). «Technical guidelines for environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with polychlorinated biphenyls, polychlorinated terphenyls or polybrominated biphenyls», Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- 156 VROM (2004). «Dutch fact sheets for the waste treatment industries», Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment. Directorate for Chemicals, Waste, Radiation protection. Department of hazardous waste.
- 157 UBA (2004). «Annexes to German comments to the 2nd BREF on waste treatments», Umweltbundesamt.

GLOSARIO

En el glosario de este documento se incluyen los símbolos y acrónimos empleados y que el GTT ha detectado que los lectores pueden interpretar de distintas formas. Así pues, se recomienda encarecidamente consultarlo cuando se emplee una determinada palabra en este documento. Dichos términos se incluyen aquí para facilitar una orientación apropiada sobre los vocablos empleados en el texto. Debido a la singularidad de este sector industrial (fundamentalmente relacionado con la interpretación de la legislación), el GTT concluyó que sería ventajoso incluirlos. No obstante, las definiciones que aparecen a continuación no deberán considerarse como la interpretación de legislación alguna y, por consiguiente, su única validez es orientar al lector de este documento.

Este sector industrial IPPC está muy regulado y la terminología empleada no es la misma en toda la UE. Además, existen distintas interpretaciones del mismo término en distintos países, especialmente en los vocablos relacionados con la calificación de «valorización» y «eliminación». El GTT ha intentado utilizar tres normas para seleccionar el tipo de palabra que debe emplearse en este documento:

1. convención externa. Determinadas palabras de este documento se utilizan con el mismo significado que, por ejemplo, en la legislación de la UE. En este caso, puede importarse el término para que concuerde con la legislación existente. Esta opción no siempre se puede aplicar debido a las distintas interpretaciones y significados imprecisos de determinadas palabras;
2. convención BREF (documento de referencia). La norma de la convención BREF suele intentar evitar el uso de palabras difíciles con distintos significados para los lectores. Estas palabras se describen en el glosario y se utilizan en el presente documento. En esta categoría se incluyen «residuo entrante», «residuo saliente», «salida», etc.;
3. respetar los términos que aparecen en la información facilitada. Debido a las dificultades de interpretación de la información facilitada por el GTT, en ocasiones es imposible «traducir» determinadas palabras a los términos que se utilizan en la legislación. En algunos casos, distintos países interpretan las mismas palabras de manera diferente, por lo que resulta complicado para la EIPPCB (Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación) cambiar dichos términos. Algunos ejemplos de este tipo son «producto», «materiales», «químico», «valorización», «eliminación», etc. En este caso, la EIPPCB respeta los términos que aparecen en la información facilitada.

Símbolos

~	Más o menos. Aproximadamente
€	Euro, EUR (divisa europea)

A

Aceite usado	Incluye aceites usados y otros aceites recuperados de sistemas de drenaje, almacenamientos de combustible, refinerías, etc.
Aceite usado de lubricante	Incluye únicamente los aceites derivados del uso de aceites de lubricación
Aceite virgen	Aceite lubricante que aún no se ha utilizado
ADR	Acuerdo europeo sobre el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera
AEDT	Ácido etilendiaminotetracético
ANT	Ácido nitrilotriacético
AOX	Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles
API	Instituto Americano del Petróleo
APME TEC	Asociación Europea de Fabricantes de Plásticos, centro técnico
AU	Aceite usado

AT ₄	Actividad respiratoria después de cuatro días (medida en mg O ₂ /gr de sólidos totales)
B	
Base parafínica bright stock	Fracción de lubricante
BREF	Documento de referencia de MTD (mejores técnicas disponibles)
BTEX	Benceno, tolueno, etilbenceno (feniletano) y xilenos
C	
C	Cogeneración de electricidad y calor
C _x	Hidrocarburo con x número de carbonos
CAG	Carbón activo granulado
CDR	Combustible derivado de residuos. Los CDR (un tipo de combustibles residuales sólidos) cumplen determinados estándares
CE	Comisión Europea
CEN	Comité Europeo de Normalización
Ceniza de fondo	Residuos sólidos de los procesos de combustión. En este documento se emplea como sinónimo de «escorias de combustión»
CFC	
CFC	Clorofluorocarbonos
Combinar	En este documento se interpreta como mezclar residuos líquidos o semilíquidos
Combustible residual	Este término se emplea en el presente documento para hacer referencia en general a cualquier tipo de residuo o material elaborado a partir de residuos que se utilice como combustible en cualquier proceso de combustión. Abarca términos como «CSR» y «combustible secundario»
Combustible residual líquido	Combustible líquido o semilíquido elaborado a partir de residuos. Elaborado normalmente a partir de residuos peligrosos
Combustible residual sólido	Combustible sólido elaborado a partir de residuos. Puede elaborarse a partir de residuos peligrosos o no peligrosos
Combustible secundario	Término empleado en este documento para cualquier tipo de combustible (elaborado a partir de residuos o no) que se utiliza para complementar el combustible primario empleado en una instalación de combustión
Conradson	Carbono Conradson (Concarbon): medida del residuo de carbono (expresada en porcentaje por peso). Medida de la tendencia de un compuesto orgánico a formar coque
COP	Contaminante orgánico persistente
Cortes	Término empleado en destilación, fraccionamiento para nombrar las distintas fracciones de destilación obtenidas
COT	Carbono orgánico total
COV	Compuestos orgánicos volátiles. Medidos normalmente como masa de carbono
COVNM	Emisiones de COV no metánicos
CR	Combustibles recuperados
CSR	Combustible sólido recuperado. El CSR (un tipo de combustible residual sólido) cumple determinados estándares
D	
D	Eliminación (códigos establecidos por la legislación de la CE sobre tratamientos de eliminación)
DA	Digestión anaerobia
DAT	Desasfaltado térmico (técnica empleada para el tratamiento de aceites residuales)
DAP	Desasfaltado con propano (para aceites residuales)
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DCH	Proceso de hidrogenación por contacto directo de aceites residuales
DCM	Diclorometano

Degradación biológica	Se emplea para los procesos biológicos que se producen de manera natural en la biomasa en la atmósfera, principalmente aerobios. En algunos países se utiliza el término «en descomposición» para definir este vocablo
Desecho del TGC	Se refiere a los desechos generados en el tratamiento de los gases de los procesos de combustión y se considera un «residuo entrante» en este documento. Este término se emplea con un significado distinto a «residuo de TGC», que aparece más adelante. Para más información, consulte el apartado 8.3.7.
Digestato	Residuo sólido tras digestión anaerobia
DIL	Detector de ionización de llama
DIN	Deutsches Institut für Normung (DIN, Instituto alemán de normalización) es la organización nacional alemana de estandarización
DQO	Demanda química de oxígeno
DRE	Eficacia de destrucción y eliminación. Sólo tiene en cuenta las emisiones de las chimeneas, no considera otras emisiones ni residuos
E	
Eliminación	Definida por la Directiva marco sobre residuos de la CE
EM	Estado miembro (uno de los 25 Estados miembros de la UE)
Emisiones difusas	Emisiones derivadas del contacto directo de sustancias volátiles o ligeras y polvorientas en circunstancias de funcionamiento normales (véase el BREF sobre monitorización)
Emisiones fugitivas	Emisión provocada por equipo no hermético/fuga: emisión al medio ambiente resultante de una pérdida gradual de hermetismo de una pieza del equipo diseñada para contener un fluido (líquido o gaseoso), causada fundamentalmente por una diferencia de presión y una fuga resultante. Ejemplos de emisiones fugitivas: fuga de una brida, una bomba, un equipo sellado o hermético... (consultar BREF de monitorización)
Envío	Entrega del residuo para la siguiente actividad o cliente
EPF	Evaporación de películas finas (técnica utilizada para el tratamiento de aceites residuales)
eq.	Equivalente (es decir, eq. crudo)
EQT	Equivalente tóxico. Unidad utilizada para las PCDD y los PCDF
Escoria	Residuos sólidos de procesos de combustión. El término «ceniza de fondo» es el que se emplea con más frecuencia en este documento
Especificación	Valores fisico-químicos que la legislación otorga a determinados compuestos (por ejemplo, aceites lubricantes)
Estación de transferencia	Se emplea en este documento para incluir las actividades de acumulación y almacenamiento
EUR	Euro, EUR, (divisa europea)
F	
FAD	Flotación por aire disuelto
FII	Foro de intercambio de información (ver prólogo)
FQ	Tratamiento fisico-químico. En este documento se emplea normalmente para el tratamiento de aguas residuales o residuos sólidos
G	
GB21	Producción anaerobia de gas
GE	Unidad de olor alemana
GLP	Gas licuado de petróleo
GNP	Great Northern Processing Inc.
GTT	Grupo de trabajo técnico sobre tratamientos de residuos (integrado por expertos de los Estados miembros, industrias del tratamiento de residuos, ONG ambientales y coordinado por la EIPPCB, Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación)

H

HAP	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
HC	Hidrocarburos
HCFC	Hidroclorofluorocarbonos
HA	Hidroacabado
HMIP	Inspector real de contaminación (R.U.)
HTP	Hidrocarburos totales de petróleo

I

I+D	Investigación y desarrollo
IDT	Investigación y desarrollo tecnológico. Programas de investigación de la CE
IFP	Institute Français du Petrole
IR	Incineración de residuos (suele hacerse referencia a ella en el BREF sobre IR)

L

L/S	Proporción líquido/sólido
LDAR	Sistema de detección y reparación de fugas. Programa que se aplica para reducir las emisiones fugitivas. Para más información, consulte el apartado 4.6.2
LER	Lista europea de residuos de la Directiva marco sobre residuos
LHSV (h ⁻¹)	Velocidad espacial horaria del líquido

M

M	Millón (10 ⁶)
MEK	Metiletilcetona
MIBK	Metilisobutilcetona
Mercancías blancas	Electrodomésticos grandes que normalmente presentan acabados de esmalte blanco como frigoríficos, lavadoras, etc.
Mezclar	En este documento se utiliza como «unir residuos sólidos»
MS	Materia seca. La materia tras secarse su contenido de humedad
Muro de contención	Se diseña un muro de contención del depósito (o dique) para evitar las fugas, como las causadas por una ruptura de la estructura, o que se llene por encima de su capacidad. El muro de contención rodea el exterior del depósito (o depósitos) para retener el producto en el improbable caso de que se produzca una fuga. El muro se construye normalmente con tierra muy compacta u hormigón armado. El volumen se suele adaptar para albergar el contenido del mayor depósito dentro del muro. Para más información, véase el BREF sobre almacenamiento

N

n.d.	No disponible
n/a	No aplicable
ndM	Método analítico
NF	Nanofiltración
NIR	Técnica de espectroscopia en el infrarrojo cercano

O

OI	Ósmosis inversa
Operador de residuos	Empresa que gestiona la instalación de tratamiento de residuos

P

P	Partícula
P _x	Partícula inferior a x micras
PAG	Polialquilenglicol
PBB	Polibromobifenilo

PCB	Policlorobifenilo
PCB/PCT	Policlorobifenilos y policlorotriphenilos
PCDD/PCDF	Dibenzodioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados
PCI	Poder calorífico inferior
%-peso	porcentaje por relación de peso (por ejemplo, %-peso significa kg de X por 100 kg de material)
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
PD	Predestilación (usado normalmente para aceites residuales)
ppm	Partes por millón (mg /kg. Equivalente aproximado a mg /l en concentraciones en agua)
ppmv	Partes por millón referidas al volumen (litro por litro)
Productor de residuos	Instalación donde se producen los residuos. Éstos se entregan a un gestor o un tratante de residuos
Productos finales ligeros	Término empleado en destilaciones, fraccionamiento para nombrar los productos finales ligeros volátiles que terminan en la parte superior de las columnas
R	
R	Valorización (códigos establecidos por la legislación de la CE para los tratamientos de valorización)
RCNS	Reducción no catalítica selectiva. Tecnología de control no catalítico aplicada a la reducción de emisiones de NO _x
RCS	Reducción catalítica selectiva. Tecnología de control catalítico aplicada a la reducción de emisiones de NO _x
R/D	Valorización y eliminación
RIG	Recipiente intermedio para graneles
Receptor de residuos	Instalación donde se reciben los residuos. En ocasiones, esta instalación es el productor de residuos si no hay un intermediario entre la instalación de tratamiento de residuos y el productor. A veces esta instalación es la instalación de traslado de residuos
Reciclar	En este documento se emplea con dos significados: uno es el reciclaje de parte del residuo para otro sector industrial y otro es el reciclaje en una instalación de TR. El segundo se usa con más frecuencia en el presente documento
Redox	Las reacciones más importantes en química son los procesos redox (oxidación-reducción). El término «proceso redox» se refiere a todos los procesos en los que cambia el número de oxidación de los átomos (estado de oxidación)
Refinería	Refinería de aceite mineral (véase el BREF sobre refinerías)
Regeneración	En este documento se utiliza para el tratamiento de residuos líquidos y sólidos para recuperar la mayoría del material residual. No obstante, existe una excepción, ya que el término «rerrefinado» se utiliza en el caso de la regeneración de aceite residual para reconvertirlo en aceites de base
Remediación	Término genérico utilizado en este documento para referirse al tratamiento de suelo contaminado
Rerrefinado	En este documento se utiliza para los tratamientos realizados para transformar aceite residual en aceite de base
Residuos contaminados con PCB (policlorobifenilos) y dioxinas	El BREF sobre TR se menciona en COM (2001) 593 para incluir también el tratamiento de dicho tipo de residuos. El término se utiliza con el mismo significado que en esta legislación
Residuo entrante	Residuo que puede tratarse en una instalación de tratamiento de residuos. Para una explicación más detallada, consulte la introducción al capítulo 3
Residuos de laboratorio	Término empleado normalmente para definir los residuos procedentes de los laboratorios. Normalmente son pequeñas cantidades y con una composición muy variable
Residuo del TGC	Se refiere a los residuos generados cuando el tratamiento de los gases de combustión se aplica a instalaciones de tratamiento de residuos (TR). Este

	término se utiliza par diferenciarlo de «desecho del TGC», como se indicó anteriormente
Residuos generados en el proceso	Los residuos no utilizables (por ejemplo, residuos de cal, fondos de depósitos de almacenamiento, lodos) son generados por los procesos/operaciones y son distintos de los residuos salientes que se pretende obtener. El motivo para diferenciar estos residuos es que los residuos salientes pueden emplearse para distintos propósitos, mientras que los residuos generados en el proceso normalmente no se reutilizan. Para más información, consulte la introducción del capítulo 3 y la figure 3.1.
Residuo saliente	Hace referencia a la salida de residuos (ya sea un residuo o un producto) de una instalación de tratamiento de residuos. No obstante, en este documento se diferencia de los residuos relacionados con el proceso. Para una explicación más detallada, consulte la introducción al capítulo 3
RSM	Residuos sólidos municipales
R.U.	Reino Unido
S	
Salida	Incluye el residuo saliente (principal salida) y otros tipos de residuos sólidos, emisiones, aguas residuales, etc., generados durante un tratamiento de residuos.
Selectopropano	Unidad de DAP
SGA	Sistemas de gestión ambiental
S+H	Programa de seguridad y salud
Solidificación	Tratamiento que emplea aditivos para cambiar las propiedades físicas del residuo (véase el apartado 2.3.3.5)
SS	Sólidos secos (contenido). La masa de un material que queda tras secarlo con el método estándar de prueba
T	
t/a	Toneladas por año
TAR	Tratamiento de aguas residuales
TCE	Tricloroetileno
TCT	Tratamiento de craqueo térmico
TFL	Técnica de final de línea. Normalmente se usa como sinónimo de «técnica de reducción de la contaminación»
TGC	Tratamientos de los gases de combustión. Técnicas de reducción de la contaminación (por ejemplo, reducción de partículas, reducción de SO _x , reducción de NO _x) empleadas normalmente en la limpieza de los gases generados tras procesos de combustión
TIR	Tasa interna de retorno (concepto económico)
TMB	Tratamiento mecánico-biológico
TR	Tratamiento(s) de residuos
Transferencia de residuos	Instalaciones dedicadas fundamentalmente a recoger distintos tipos de residuos para aumentar su cantidad y enviarlos para su tratamiento
Tratamiento de residuos	Cualquiera de las instalaciones que realice tratamientos de residuos y que se incluye en el ámbito de este documento
TRH	Tiempo de retención hidráulica
TRI	Inventario de emisiones tóxicas de EE. UU. (http://www.epa.gov/tri/)
TS	Contenido total de sólidos
U	
UE	Unión Europea
UE+	Unión Europea + países de la AELC (Asociación Europea de Libre Comercio) + países candidatos
uoE	Unidad de olor europea. La cantidad de odorizantes que, al evaporarse en un metro cúbico de gas neutro en condiciones estándar, provoca una respuesta de un panel (umbral de detección) equivalente a la provocada por una Masa

	de olor de referencia europea (MORE), que se evapora en un metro cúbico de gas neutro en condiciones estándar (CEN TC264)
USA EPA	Agencia de protección ambiental de EE. UU.
US DOE	Departamento de energía de EE. UU.

V

Valorización	Definida por la Directiva Marco sobre residuos de la CE. En este documento también se utiliza como el tratamiento para la recuperación de material del residuo o parte de él
VND	Valor neto de devolución
%-vol	Volumen por relación de volumen (por ejemplo, Y %-vol significa Y litros del compuesto X por 100 litros de gas)

W

	Nombre del país	Abreviatura	Divisa Código ISO
EU-25 Países de la UE	Bélgica	BE	EUR
	República checa	CZ	CZK
	Dinamarca	DK	DKK
	Alemania	DE	EUR
	Estonia	EE	EEK
	Grecia	EL	EUR
	España	ES	EUR
	Francia	FR	EUR
	Irlanda	IE	EUR
	Italia	IT	EUR
	Chipre	CY	CYP
	Letonia	LV	LVL
	Lituania	LT	LTL
	Luxemburgo	LU	EUR
	Hungría	HU	HUF
	Malta	MT	MTL
	Países Bajos	NL	EUR
	Austria	AT	EUR
	Polonia	PL	PLN
	Portugal	PT	EUR
	Eslovenia	SI	SIT
	Eslovaquia	SK	SKK
Finlandia	FI	EUR	
Suecia	SE	SEK	
Reino Unido	UK	GBP	
Países candidatos	Bulgaria	BG	BGN
	Rumanía	RO	ROL
	Turquía	TR	TRL
Otros países	Australia	AU	AUD
	Canadá	CA	CAD
	Islandia	IS	ISK
	Japón	JP	JPY
	Nueva Zelanda	NZ	NZD
	Noruega	NO	NOK
	Suiza	CH	CHF
	Estados Unidos	US	USD

Tabla 7.1: Códigos y divisas de los países

Notas: Información de <http://eur-op.eu.int/code/en/en-5000500.htm>

8 ANEXOS

Se han elaborado cinco anexos para complementar la información facilitada en este documento, cada uno de ellos está relacionado con un tema concreto:

Anexo I. Legislación ambiental y valores límite de emisión aplicados al sector del tratamiento de residuos

Anexo II. Cuestionario empleado para recopilar información ambiental sobre las instalaciones europeas de tratamiento de residuos

Anexo III: Tipos de residuos y de producción de residuos en la UE

Anexo IV: Sistemas de garantía de calidad para combustibles secundarios recuperados

8.1 Anexo I. Legislación ambiental y valores límite de emisión aplicados al sector del tratamiento de residuos

[5, Concauwe, 1996], [6, Silver Springs Oil Recovery Inc., 2000], [7, Monier y Labouze, 2001], [36, Viscolube, 2002], [37, Woodward-Clyde, 2000], [55, UK EA, 2001], [86, GTT, 2003], [95, CAR/PL, 2003], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004]

8.1.1 Directiva de residuos

En la tabla 8.1 se muestra la clasificación de las operaciones de tratamiento de residuos. Dicha clasificación, de acuerdo con estas entradas, se utiliza para varios propósitos (por ejemplo, estadísticas, exportación de residuos). La tabla también contiene ejemplos del tipo de instalaciones que pueden incluirse en cada modalidad de operación. No obstante, estos ejemplos no constituyen una definición de dichos términos. Se reconoce que algunas de estas definiciones pueden ser técnicamente ambiguas, pero se corresponden con definiciones jurídicas existentes que exceden el ámbito de este documento.

Operaciones de eliminación (D)		Ejemplos de instalaciones
D1	Depósito sobre el suelo o en su interior (por ejemplo vertido, etc.).	
D2	Tratamiento en medio terrestre (por ejemplo, biodegradación de residuos líquidos o lodos en el suelo, etc.).	
D3	Inyección en profundidad (p.ej. inyección de residuos bombeables en pozos, minas de sal o fallas geológicas naturales, etc.).	
D4	Embalse superficial (p.ej. vertido de residuos líquidos o lodos en pozos, estanques, lagunas, etc.).	
D5	Vertidos en lugares especialmente diseñados (por ejemplo, colocación en celdas estancas separadas, recubiertas y aisladas entre sí y del medio ambiente, etc.).	Vertedero peligroso: que se usa normalmente para verter residuos peligrosos de terceros. Monovertedero: donde sólo se vierte un tipo de residuo. Normalmente, si se vierte más de un tipo de residuo se utiliza segregación.
D6	Vertido en el medio acuático, salvo en el mar.	
D7	Vertido en el mar, incluyendo la inserción en el lecho marino.	
D8	Tratamiento biológico no especificado en otro apartado de esta lista y que dé como resultado compuestos o mezclas que se eliminen mediante alguno de los procedimientos enumerados entre D1 y D12.	Operaciones que incluyan el uso de procesos biológicos o utilicen microorganismos para el tratamiento de residuos.
D9	Tratamiento biológico no especificado en otro apartado de esta lista y que dé como resultado compuestos o mezclas que se eliminen mediante alguno de los procedimientos enumerados entre D1 y D12 (por ejemplo, evaporación, secado, calcinación, etc.).	Operaciones llevadas a cabo para el tratamiento del residuo antes de su eliminación a través de procesos físicos o químicos o de una combinación de ambos. Algunas operaciones son estabilización, deshidratación, solidificación, esterilización, autoclave, desinfección de residuos hospitalarios, etc.
D10	Incineración en tierra.	Operaciones para la destrucción de residuos mediante incineración, cuyo principal objetivo es destruir el residuo, con o sin recuperación de energía.
D11	Incineración en el mar.	
D12	Almacenamiento permanente (por ejemplo, colocación de contenedores en una mina, etc.).	
D13	Mezcla o combinación previa a cualquiera de las operaciones enumeradas entre D1 y D12.	
D14	Reenvasado previo a cualquiera de las operaciones enumeradas entre D1 y D13.	
D15	Almacenamiento previo a cualquiera de las operaciones enumeradas entre D1 y D14 (con exclusión del almacenamiento temporal previo a la recogida en el lugar de producción).	
Operaciones de valorización (R)		
R1	Utilización principal como combustible o como otro medio de generar energía.	Grandes instalaciones de combustión, hornos de cemento y cal, instalaciones cerámicas o similares (por ejemplo, cogeneración).
R2	Recuperación o regeneración de disolventes.	Operaciones dirigidas a la regeneración de disolventes independientemente del proceso empleado.

R3	Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes (incluidos el compostaje y otros procesos de transformación biológica).	Operaciones dirigidas a la regeneración de, por ejemplo, contenedores de plástico, gases refrigerantes, combustibles. También se incluyen operaciones de limpieza. Operaciones para la recuperación de residuos contaminados con PCB.
R4	Reciclado o recuperación de metales y de compuestos metálicos.	Operaciones dirigidas a reciclar residuos de metal o a recuperar metales y compuestos metálicos. Residuos como escorias, pulvimetales, contenedores metálicos, baterías de plomo, alambres de cobre, mercurio de baterías, fluorescentes, chatarra de metales, sales metálicas de procesos metalúrgicos. Los vehículos y los frigoríficos al final de su vida útil también pueden incluirse aquí. También se incluyen las actividades de limpieza antes de reciclar los contenedores de metal.
R5	Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas.	Operaciones dirigidas a reciclar materiales inorgánicos que no sean metales o a la recuperación de materiales inorgánicos procedentes de residuos (por ejemplo, materiales minerales de residuos de construcción y demolición, coagulantes de ácidos (cloruro férrico)).
R6	Regeneración de ácidos o de bases.	Operaciones dirigidas a la regeneración de ácidos o bases independientes del proceso empleado.
R7	Valorización de componentes utilizados para reducir la contaminación.	
R8	Valorización de componentes procedentes de catalizadores.	Operaciones dirigidas a la valorización de componentes como metales o cerámicas de catalizadores.
R9	Regeneración u otro nuevo empleo de aceites.	Operaciones dirigidas a la regeneración de aceites residuales.
R10	Tratamiento de suelos, produciendo un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los mismos.	
R11	Utilización de residuos obtenidos a partir de cualquiera de las operaciones enumeradas de R1 y R10.	
R12	Intercambio de residuos para someterlos a cualquiera de las operaciones enumeradas entre R1 y R11.	
R13	Almacenamiento de residuos en espera de cualquiera de las operaciones enumeradas entre R1 y R12 (con exclusión del almacenamiento temporal previo a la recogida en el lugar de producción).	

Tabla 8.1: Tipo de instalaciones de tratamiento de residuos y ejemplos de instalaciones incluidas en cada una de las distintas categorías de operaciones con residuos Anexo II A y B de la Directiva del Consejo 91/156/CE

8.1.2 Legislación de la UE aplicable a los aceites usados

Directiva	Nombre
75/439/CEE	Sobre aceites
75/442/CEE	Sobre residuos y definición de los mismos
87/101/CEE	Enmienda de la Directiva 75/439 que da prioridad al rerrefinado
89/369/CEE	Sobre medidas preventivas de la contaminación atmosférica de instalaciones incineradoras y emisiones
89/429/CEE	Control de residuos especiales
91/156/CEE	Para fomentar las tecnologías limpias y la valorización de residuos sin riesgo para el medio ambiente y la salud humana
91/689/CEE	Sobre residuos peligrosos
91/689/CEE	Lista de residuos peligrosos del apartado 1 del párrafo 4 de la Directiva 91/689/CEE
91/692/CEE	Estandarización y cumplimiento de algunas directivas ambientales
92/12/CEE	Sobre los impuestos sobre aceites minerales
92/81/CEE	Armonización de los impuestos sobre aceites minerales
92/82/CEE	Tarifas de los impuestos sobre aceites minerales
92/108/CEE	Enmienda de las Directivas 92/12 y 92/81
94/62/CE	Sobre los envases y los residuos procedentes de envases
94/67/CE	Sobre la incineración y la coincineración de residuos y límites de emisión
96/61/CE	Sobre medidas preventivas y reducción integral de la contaminación
2000/76/CE	Directiva sobre incineración de residuos

Tabla 8.2: Directivas CE en vigor que afectan a los aceites residuales
[36, Viscolube, 2002], [150, GTT, 2004]

8.1.3 Otras legislaciones sobre residuos de la UE

Existen distintos tipos de legislación importantes para poseedores de residuos que deben conocerse para el tratamiento de éstos. Algunas de las más importantes se resumen en la tabla 8.3:

Referencia	Nombre
	<i>Regulaciones del sector de los residuos</i>
94/62/CEE	Envases (publicada, PWD)
2000/53/CE	Automóviles (publicada, ELV: Directiva sobre el final de la vida útil de los vehículos)
13/6/2000	Aparatos eléctricos y electrónicos (WEEE, propuesta de una Directiva sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos)
	<i>Regulaciones sobre cuestiones horizontales</i>
2000/2037CE	Sustancias que perjudican a la capa de ozono (ODP, Sustancias que perjudican a la capa de ozono)
1999/31/CE	Eliminación de vertidos (LWD, Directiva sobre residuos de vertidos)
2000/76/CE	Incineración de residuos (WID, Directiva sobre incineración de residuos)
2000/53L/CE	Lista de residuos (EWL, decisión de la comisión de mayo de 2000)
67/548/CEE	Directiva sobre sustancias peligrosas (DSD, Directiva sobre sustancias peligrosas)
1999/45/CE	Directiva sobre preparaciones peligrosas (DP, Directiva sobre preparaciones peligrosas)
	Directiva sobre la emisión de disolventes (SED)
	Directiva sobre vertederos
	Directiva Seveso
	Directiva marco sobre el agua
	Seguridad industrial, VawS (s.a.), otros...

Tabla 8.3: Legislación de la UE relacionada con las instalaciones de tratamiento de residuos

8.1.4 Legislaciones de algunos países de la UE

8.1.4.1 Francia

Francia ha adoptado las principales regulaciones europeas sobre gestión de residuos peligrosos. Recientemente se ha adoptado el decreto (2002 - 540) para adaptar la clasificación de residuos peligrosos a los nuevos reglamentos europeos (decisión 2000/532/CE) [95, CAR/PL, 2003].

8.1.4.2 Alemania

La legislación aplicada en Alemania en relación con el tratamiento de residuos puede resumirse de la siguiente forma:

- instrucción técnica sobre gestión de residuos (Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen – TA Abfall);
- ordenanza sobre almacenamiento ambientalmente compatible de residuos de asentamientos humanos y sobre instalaciones de tratamiento biológico de residuos, de febrero de 2001;
- ordenanza sobre requisitos para el vertido de agua residual en agua/ordenanza sobre las aguas residuales (Abwasserverordnung – AbwV), de 15 de octubre de 2002;
- TA Luft;
- 30. BImSchV;

Los requisitos sobre el tratamiento de aguas residuales se establecen en: anexo 23 «Instalaciones para el tratamiento biológico de residuos» y anexo 27 «Tratamiento de residuos con procesos químicos y físicos (instalaciones FQ) y procesamiento del aceite usado de lubricante» de la Ordenanza sobre requisitos para el vertido de agua residual en otras aguas (Ordenanza sobre agua residual- AbwV), del 15 de octubre de 2002.

Vertidos de aguas residuales o mezclas

Las instalaciones FQ en Alemania están sujetas siempre a un control relacionado con la legislación sobre residuos y agua. El agua residual puede verterse en cuerpos de agua únicamente si el agua del proceso y el tratamiento del aire de escape en las instalaciones de tratamiento mecánico-aerobio-biológico no pueden usarse completamente en procesos internos.

De acuerdo con la ordenanza, el agua residual generada se utiliza a menudo en procesos de limpieza de gases residuales, por ejemplo, para la humidificación del biofiltro o para el funcionamiento del biorreactor. En algunos casos, se aplica en procesos de enfriamiento con una evaporación abierta. Debido a los pequeños volúmenes de agua residual, las técnicas de filtro son las operaciones que se aplican fundamentalmente.

Valores límite de emisión (VLE) para TMB

	Valores límite de emisión	Unidades
Valores medios diarios (medición continua):		
total de polvo	10	mg/m ³
sustancias orgánicas, presentadas como total de carbono	20	mg/m ³
Valores medios en media hora (medición continua):		
total de polvo	30	mg/m ³
sustancias orgánicas, presentadas como total de carbono	40	mg/m ³
Valores medios mensuales, determinados como relación de masa ¹ :		
óxido nitroso	100	g/t
sustancias orgánicas, presentadas como total de carbono	55	g/t
Mediciones únicas		
olores	500	GE/m ³
dioxinas/furanos (valor total)	0,1	ng/m ³
¹ Gramo de COT o N ₂ O por tonelada de residuo tratado Comentario sobre el 5 % de oxígeno. La referencia sobre el oxígeno ha resultado no ser práctica porque el contenido de oxígeno en un gas de escape de TMB es similar al contenido de oxígeno de la atmósfera. La imprecisión de la medida del oxígeno provoca determinadas incertidumbres en el cálculo de referencia. Una combinación adecuada de límites de carga y de concentración es la mejor alternativa para prevenir los efectos de dilución.		

Tabla 8.4: Valores límite de emisión alemanes aplicados al TMB
[150, GTT, 2004]

8.1.4.3 Grecia

A pesar de que en Grecia aún se está desarrollando un plan nacional sobre residuos peligrosos, ya están en funcionamiento mecanismos para gestionar residuos industriales y peligrosos. Los principales reglamentos respecto a la gestión de residuos industriales son:

- Ley 1650/86 sobre protección ambiental,
- Ley 3010/02 sobre protección ambiental,
- CMD 69728/96 sobre gestión de residuos sólidos,
- CMD 114218/97 sobre especificaciones técnicas sobre gestión de residuos sólidos,
- CMD 113944/97 plan nacional sobre gestión de residuos sólidos y peligrosos.

Existen reglamentos concretos sobre la gestión de residuos industriales peligrosos:

- CMD 72751/85 y CMD 19396/97 sobre gestión de residuos peligrosos,
- CMD 98012/97 sobre gestión de aceites usados de lubricantes,
- CMD 73537/95 sobre baterías de plomo y CMD 19817/00 sobre baterías,
- CMD 8243/91 sobre residuos de amianto y CMD 7589/00 sobre PCB/PCT,
- CMD 2487/99 sobre prevención de la contaminación procedente de la incineración de residuos peligrosos.

8.1.4.4 Italia

El marco jurídico sobre la gestión de residuos industriales y peligrosos está muy desarrollado en Italia.

La Ley marco nacional sobre residuos aprobada en 1997 (Decreto Legislativo 22/97) convirtió la Directiva marco europea sobre residuos 75/442/CEE, la Directiva sobre recursos peligrosos 91/689/CE y la Directiva sobre envases y residuos procedentes de envases 94/62/CE (73) en legislación nacional.

La Ley 22/97 introduce una política integrada de gestión de residuos, tal y como la estructura la jerarquía europea: minimización y prevención de residuos en su origen seguidas de valorización en su triple dimensión de reutilización, reciclaje y recuperación de energía y, por último, una eliminación segura. Esta ley supone una reforma en el ámbito de la gestión de residuos en Italia. Fomenta las tecnologías limpias, las ecoetiquetas, el sistema de certificación EMAS, redes integradas de instalaciones de valorización y eliminación, y acuerdos voluntarios entre las administraciones públicas y los operadores económicos con el fin de crear oportunidades reales para el reciclaje de residuos.

Los residuos se clasifican de acuerdo con la lista europea de residuos (decisión 2000/532/CE). El sistema de información sobre residuos se basa en el registro nacional de residuos, que se constituyó por ley en 1994 y se reorganizó en 1998.

Recientemente, la Directiva 99/31/CE se ha convertido en legislación italiana en virtud del Decreto Legislativo del 13 de enero de 2003 para facilitar herramientas técnicas y operativas para una mejor gestión de los vertederos y mejores medidas/procedimientos para minimizar el impacto ambiental y sus efectos sobre la salud humana. Además, la Directiva 2000/53/CE sobre el final de la vida útil de los vehículos se encuentra en proceso de convertirse en legislación italiana.

En la tabla 8.5 se muestran los valores límite de emisión aplicados a una refinería de aceites usados.

Parámetro de aire	Valores límite de emisión	Unidades
Temperatura de emisión	150	°C
P	30	mg/Nm ³
Metales pesados	5	mg/Nm ³
COT	10	mg/Nm ³
HCl	10	mg/Nm ³
HF HBr	3	mg/Nm ³
HCN	0,5	mg/Nm ³
P	5	mg/Nm ³
HAP	0,05	mg/Nm ³
PCDD + PCDF	0,01	µg/Nm ³
TCDD + TCDF	0,05	µg/Nm ³
PCB + PCN + PCT	0,1	mg/Nm ³
Notas: estos valores hacen referencia a un porcentaje de O ₂ de 10 %		

Tabla 8.5: Valores límites de emisión para refinерías de aceite usados [36, Viscolube, 2002]

Parámetro de agua	Valores límite de emisión	Unidades
Temperatura	25	°C
Acidez	5,5/9,5	pH
DQO	160	mg/l
Fenoles	0,5	mg/l
NH ₄ ⁺	15	mg/l
P (total)	10	mg/l
Tensioactivos aniónicos		mg/l
Tensioactivos no aniónicos		mg/l
Total de tensioactivos	2	mg/l
Al	1	mg/l
Fe	2	mg/l
Color	No detectable	
Sólidos suspendidos	80	mg/l

Tabla 8.6: Valores límite de emisión en el vertido de aguas de una refinерía de aceites usados [36, Viscolube, 2002]

8.1.4.5 España

En España se ha diseñado un marco jurídico en relación con la gestión de residuos industriales y peligrosos. Los principales reglamentos sobre residuos peligrosos son los siguientes:

- Ley 10/98, de 21 de abril, sobre residuos,
- Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba la Ley 20/1986 sobre residuos peligrosos (modificada por el Real Decreto 952/1997),
- Orden MAM/304/2002 sobre clasificación de residuos peligrosos,
- Plan nacional de residuos peligrosos (1995 - 2000),
- Plan nacional de residuos peligrosos (2002 - 2008) (en desarrollo).

Existen reglamentos específicos sobre la gestión de los aceites usados de lubricantes, PCB, PCT y baterías.

8.1.4.6 Reino Unido

Inglaterra y Gales	Escocia	Irlanda del Norte
Reglamentos sobre PPC (Inglaterra y Gales) 2000	Reglamentos sobre PPC (Escocia) 2000; SI 200/323	
Reglamentos sobre autorizaciones para la gestión de residuos SI 1994 1056	Reglamentos sobre autorizaciones para la gestión de residuos SI:1994 1056	No hay equivalente en Irlanda del Norte (NI)
<i>Water Resources Act</i> (Ley sobre recursos del agua) 1991	COPA 1974 (S30A-30E equiv. a Parte III WRA91) <i>Natural Heritage Act</i> 1991 (Ley sobre patrimonio natural, Escocia) (Parte II equiv. a Parte I WRA91)	Ley sobre el agua (NI) 1999
SI 1989 No 317: Aire limpio, normas sobre los estándares de calidad del aire 1989	SI 1989/317: Aire limpio, normas sobre los estándares de calidad del aire 1989	Normas sobre los estándares de calidad del aire (Irlanda del Norte) 1990. Leyes parlamentarias de Irlanda del Norte 1990 No 145
SI 1997 No 3043: Protección ambiental, reglamentos sobre la calidad del aire 1997	SSI 2000/97 Reglamentos sobre la calidad del aire (Escocia)	No hay equivalente en NI
SI 1989 No 2286 y 1998 No 389 Reglamentos sobre el agua superficial (clasificación de sustancias peligrosas). (Los valores de las sustancias de la lista II figuran en SI 1997/2560 y SI 1998/389)	SI 1990/126 Reglamentos sobre agua superficial (sustancias peligrosas). (Clasificación) (Escocia)	Reglamentos sobre aguas superficiales (sustancias peligrosas) (clasificación) 1998. Leyes parlamentarias de Irlanda del Norte 1998 No 397 SI 1991/1597:
SI 1991/1597: Reglamentos sobre aguas de baño (clasificación).	SI 1991/1609 Reglamentos sobre aguas de baño (clasificación) (Escocia).	Reglamentos sobre la calidad de las aguas de baño (NI) 1993
SI 1992/1331 y norma 1997 reglamentos sobre aguas superficiales (fauna marina) (clasificación).	SI 1997/2471 Reglamentos sobre aguas superficiales (fauna marina) (clasificación).	Reglamentos sobre aguas superficiales (fauna marina) (clasificación) (NI) 1997
SI 1997/1332 Reglamentos sobre aguas superficiales (mariscos) (clasificación).	SI 1997/2470 Reglamentos sobre aguas superficiales (mariscos) (clasificación).	Reglamentos sobre aguas superficiales (mariscos) (clasificación). (NI) 1997
SI 1994/2716 Reglamentos sobre conservación (hábitats naturales etc.) 1994	SI 1994/2716 Reglamentos sobre conservación (hábitats naturales etc.)	Reglamentos sobre conservación (hábitats naturales etc.) (Irlanda del Norte) 1995
Reglamentos sobre el control de riesgos de accidentes graves 1999 (COMAH)	SI 1999/743 Reglamentos sobre el control de riesgos de accidentes graves	Control de riesgos de accidentes graves (Irlanda del Norte) 2000
Reglamentos sobre residuos especiales 1996		Reglamentos sobre residuos especiales (Irlanda del Norte) 1998

Tabla 8.7: Legislación sobre residuos del Reino Unido y sus correspondientes [55, UK EA, 2001]

8.1.4.7 Bélgica

La incineración de aceites usados de lubricantes en instalaciones de mezcla de asfalto es ilegal desde enero de 1999 en la región flamenca de Bélgica [11, Jacobs y Dijkmans, 2001].

8.1.4.8 Países Bajos

En los Países Bajos se ha legislado el riesgo de utilizar materiales en agricultura y la difusión de sustancias tóxicas, especialmente metales pesados, al medio ambiente y a los cultivos. Se establecen estándares para la aplicación de digestatos anaerobios a superficies agrícolas, y se definen en el decreto de calidad y uso de otros fertilizantes orgánicos: Cd <1,25 mg/kg, Cr <75 mg/kg, Cu <75 mg/kg, Hg <0,75 mg/kg, Ni <30 mg/kg, Pb <100 mg/kg, Zn <300 mg/kg, As <15 mg/kg (concentraciones en mg/kg peso seco).

8.1.4.9 Austria

Valores límite de emisión para TMB

Parámetros	Valor límite de emisión	Unidades
1. sustancias orgánicas, como total de carbono orgánico		
valores medios en media hora	40	mg/m ³
valores medios diarios	20	mg/m ³
relación de masa ¹	100	g/t _{residuo}
2. dióxido de nitrógeno (como NO ₂) ²		
valores medios en media hora	150	mg/m ³
valores medios diarios	100	mg/m ³
3. amoníaco	20	mg/m ³
4. dioxinas/furanos ³ (2-, 3-, 7-, 8-TCDD-equivalente (I-TEF))	0,1	ng/m ³
5. total polvo	10	mg/m ³
6. olor	500	GE/m ³
7. otros parámetros ⁴		
¹ véase el párrafo 2 del capítulo 7.2.2.2 sobre «MBA-Richtlinie». ² si la técnica aplicada del tratamiento del gas residual excluye la formación de dióxidos de nitrógeno ³ si la técnica aplicada del tratamiento del gas residual excluye la formación de dibenzodioxinas policloradas (PCDD) o dibenzofuranos (PCDF) ⁴ según la tecnología del tratamiento y el tipo de residuo que se trate, hay que considerar la posibilidad de emisiones de gases de efecto invernadero (por ejemplo, N ₂ O), que debe limitarse según el caso. Así pues, se han aprobado disposiciones especiales para las instalaciones de IPPC de acuerdo con la ley austríaca de gestión de residuos. En esta tabla, los niveles de emisión de TMB se refieren a una concentración de oxígeno del 5 %		

Tabla 8.8: Valores límite de emisión austríacos para emisiones en TMB [150, GTT, 2004]

Nota: valores límite de emisión de acuerdo con la «MBA-Richtlinie» austríaca (directriz sobre el tratamiento mecánico-biológico de residuos 2002, República de Austria, Ministerio Federal de Agricultura, Medio Ambiente y Gestión del Agua, bando 2/2002, marzo 2002)

8.1.5 Legislación sobre residuos en otros países

Canadá

En Canadá, los aceites usados de lubricantes que contengan más de 2 ppm de PCB tienen que llevarse a un incinerador.

Estados Unidos

La USEPA tiene reglamentos sobre las normas para la gestión del aceite usado de lubricante. En dichos reglamentos, la incineración de aceite usado de lubricante está sujeta a un completo conjunto de controles del proceso a menos que se pueda demostrar que el aceite usado de lubricante cumple los requisitos relativos a los niveles contaminantes. La USEPA, el código estadounidense de reglamentos federales, CFR64 parte 279, y la norma estadounidense sobre aceite usado de lubricante determinan cuándo un residuo no se considera peligroso. En la tabla 8.9 se muestran las condiciones para que un residuo no se considere peligroso.

Compuesto	Valor máximo en mg/kg
Arsénico	5
Cadmio	2
Cromo	10
Plomo	100
Total de halógenos	4000

Tabla 8.9: Condiciones para que un aceite usado no se considere un residuo peligroso US EPA

8.2 Anexo II. Cuestionario empleado para recopilar información ambiental sobre las instalaciones europeas de tratamiento de residuos

PROPÓSITO DEL CUESTIONARIO

Solicitado por el grupo de trabajo técnico de tratamiento de residuos (TR) y con el objetivo de estandarizar el tipo de información necesaria para el BREF sobre TR.

¿QUÉ SE VA A HACER CON ESTA INFORMACIÓN?

La información que se recopilará se utilizará sólo para el BREF de TR.

EN EL CASO DE QUE UNA PARTE DEL CUESTIONARIO SEA CONFIDENCIAL, POR FAVOR, ESPECIFIQUELO

La EIPPCB tratará la información confidencial como tal y no hablará abiertamente sobre ella en el BREF.

NO TENGO TODA LA INFORMACIÓN QUE SE ME PIDE

La información parcial también es importante puesto que es igualmente necesario saber por qué no existe determinada información.

¿QUÉ CELDAS TENGO QUE RELLENAR?

Aquellas que le permitan introducir información y que estén coloreadas de azul.

EN ESTA IMAGEN SE RESUME CÓMO DEBE VERSE SU INSTALACIÓN PARA CUMPLIMENTAR DEBIDAMENTE EL CUESTIONARIO



Persona que cumplimenta el formulario

Nombre
Correo electrónico

Esta información sólo se utilizará si se necesita alguna aclaración.

CREADO POR: Miquel A. Aguado-Monsonet (EIPPCB)
Ludwig Ramacher (FEAD)

PARA
CONSULTAS
CONTACTAR

CON: Miquel A. Aguado-Monsonet (EIPPCB)
en miguel.aguado@cec.eu.int

UNA VEZ COMPLETADO ENVIAR A:

Miquel A. Aguado-Monsonet (EIPPCB)
a **miguel.aguado@cec.eu.int**

INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA INSTALACIÓN DE TR		
1	País	
2	Operador	
3	Nombre y ubicación de la instalación	
4	Instalación en funcionamiento desde	
5	Las fechas facilitadas en este cuestionario corresponden al año. . . (año de referencia)	
6	Comentarios adicionales	

ESTA HOJA DE CÁLCULO CONTIENE FECHAS DE LAS ENTRADAS A LA INSTALACIÓN

RESIDUOS TRATADOS																
Cantidad de residuos tratados en el año de referencia	toneladas/año													Número de códigos peligrosos que usted trata	Porcentaje anual de cada tipo de residuo tratado %	
Tipos de residuos tratados	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13			
01															0	
02																
03																
04																
05																
06																
07																
08																
09																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																

ENTRADA DE RECURSOS	
Tipo de combustible empleado	(combustibles fósiles (gaseosos, líquidos, sólidos) y residuales (por ejemplo, CDR))
Consumo de combustible	MJ/año
Consumo de electricidad	MWh/año
Consumo de calor	MWh/año
Agua	m ³ /año
Refrigeración	MJ/año
OTRAS ENTRADAS (por ejemplo, productos químicos)	
	toneladas/año

ESTA HOJA DE CÁLCULO CONTIENE UNA BREVE EXPLICACIÓN DE LA INSTALACIÓN Y LAS ACTIVIDADES/PROCESOS IMPLICADOS

TIPO DE INSTALACIÓN

	Producción de combustible a partir de residuos no peligrosos
	Producción de combustible a partir de residuos peligrosos
	Tratamiento mecánico-biológico de residuos no peligrosos
	Digestión anaerobia
	Tratamiento de catalizadores gastados
	Tratamiento de residuos y cenizas para la limpieza de gases de combustión
	Tratamiento de aceites usados
	Tratamiento de disolventes acuosos
	Tratamiento físico-químico para mezclas de agua y aceite y emulsiones
	Tratamiento de suelo contaminado

BREVE RESUMEN DE LA INSTALACIÓN

(Por favor, mencione la lista de procesos/actividades que se llevan a cabo en su instalación (nota: el almacenamiento ya se incluye). Añada un diagrama de flujo de la instalación (en la siguiente hoja de cálculo) para facilitar la comprensión de su proceso).

	Número	Comentarios
1	Almacenamiento de gas	
2	Almacenamiento de líquidos	
3	Almacenamiento de sólidos (incluyendo residuos)	
4		
5		
6		

PROCESOS DE REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Por favor, mencione en la siguiente tabla qué tipos de sistema de limpieza de gases de combustión se utilizan:

Tipo de sistema que se utiliza	Eficacia de reducción	Base de la eficacia	Comentarios
A1 precipitador electrostático seco		P	
A2 precipitador electrostático húmedo		P	
A3 ciclón		P	
A4 temple			
A5 filtro de mangas		P	
A6 filtro de mangas con inyección de carbón activo		P	
A7 reactor húmedo ácido			
A8 reactor húmedo alcalino			
A9 sistema de reactor adicional			
A10 reactor seco con inyección de cal			
A11 reducción catalítica no selectiva		NO _x	
A12 reducción catalítica selectiva para NO _x		NO _x	
A13 reducción catalítica selectiva para NO _x y dioxinas			
A14 filtro de carbón activo (fijo)			
A15 incinerador de COV		COV	
A16 biofiltro			

A17

¿Planea implantar alguna otra técnica de reducción de de la contaminación atmosférica a corto plazo (en dos años)?

En caso afirmativo, por favor, especifique cuál.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)

¿Genera su instalación aguas residuales?

En caso afirmativo, por favor, responda:

¿Se tratan las aguas residuales que genera su instalación en una PTAR?

En caso afirmativo, por favor, responda:

La PTAR sólo trata las aguas residuales generadas por su instalación

Eficacia global % En términos de COT
 %

Tipo de tratamientos realizados en la PTAR

		comentarios
W1	sedimentación	<input type="text"/>
W2	neutralización	<input type="text"/>
W3	tratamiento químico con.....	<input type="text"/>
W4	separación de emulsiones	<input type="text"/>
W5	filtración	<input type="text"/>
W6	deshidratación	<input type="text"/>
W7	filtro prensa	<input type="text"/>
W8	intercambio de iones	<input type="text"/>
W9	floculación	<input type="text"/>
W10	<input type="text"/>	<input type="text"/>

¿Planea implantar alguna otra técnica de tratamiento de aguas a corto plazo (en dos años)?

En caso afirmativo, por favor, especifique cuál.

COPIE AQUÍ UNA IMAGEN DEL DIAGRAMA DE LA INSTALACIÓN

ESTA HOJA DE CÁLCULO CONTIENE PREGUNTAS SOBRE LAS EMISIONES ACTUALES DE LAS INSTALACIONES

PRODUCTOS

Nombre de los productos con un precio de mercado positivo					
Cantidad anual de productos fabricados (toneladas/año)					
Electricidad (MWh/año)					
Calor (MWh/año)					

Notas: C: continuo, D: discontinuo, MI: medida indirecta, E: estimado

Si un parámetro de emisión no es aplicable para el proceso escriba N/A en la tabla. Si sabe que es posible que haya alguna emisión pero no tiene datos, por favor, deje la celda en blanco.

EMISIONES AL AIRE	Tipos de medida				
Parámetro	(C, D, MI, E)	Concentración	Unidades	Carga	Unidades
Humos generados					Nm ³ /año
Porcentaje de oxígeno utilizado para los datos que figuran a continuación			%		
Período medio					
CO ₂					kg/año
Polvo			mg/Nm ³		kg/año
SO ₂			mg/Nm ³		kg/año
NO _x			mg/Nm ³		kg/año
N ₂ O			mg/Nm ³		kg/año
COT			mg/Nm ³		kg/año
CO			mg/Nm ³		kg/año
HCl			mg/Nm ³		kg/año
HF			mg/Nm ³		kg/año
Total metales			mg/Nm ³		kg/año
Hg			mg/Nm ³		kg/año
Cd + Tl			mg/Nm ³		kg/año
HAP			mg/Nm ³		kg/año
PCB			mg/Nm ³		kg/año
Clorobencenos			mg/Nm ³		kg/año
PCDD/PCDF			(ngTEQ/ Nm ³)		g/año
CFC			mg/Nm ³		kg/año

Olor					
Ruido					

Nota: N significa condiciones normales (0 °C y 1 atm). Por favor, aporte los datos en condiciones secas.

EMISIONES AL AGUA Parámetro	Tipos de medida				
	(C, D, MI, E)	Concentración	Unidades	Carga	Unidades
Período medio					
Agua residual generada					m ³ /año
SS (sólidos suspendidos) (secos 105 °C))			mg/l		kg/año
COT (carbono orgánico total)			mg/l		kg/año
DBO ₅ (demanda biológica de oxígeno 5 días)			mg/l		kg/año
DQO (demanda química de oxígeno 2 horas)			mg/l		kg/año
Hidrocarburos			mg/l		kg/año
Fenoles			mg/l		kg/año
AOX			mg/l		kg/año
BTX			mg/l		kg/año
Total nitrógeno (como N)			mg/l		kg/año
Nitrito N (NO ₂ - N)			mg/l		kg/año
CN (libre)			mg/l		kg/año
Sulfuro (libre)			mg/l		kg/año
F, total			mg/l		kg/año
P, total			mg/l		kg/año
Total metales			mg/l		kg/año
Al (mg/l)			mg/l		kg/año
Fe (mg/l)			mg/l		kg/año
As			mg/l		kg/año
Cr, total			mg/l		kg/año
Cr (VI)			mg/l		kg/año
Cu			mg/l		kg/año
Hg			mg/l		kg/año
Ni			mg/l		kg/año
Pb			mg/l		kg/año
Zn			mg/l		kg/año

RESIDUOS GENERADOS POR EL PROCESO				
Residuos producidos por el proceso				
Cantidad anual de toneladas (toneladas/año)				
Composición				
Destino posterior				

Por favor, incluya en esta hoja de cálculo aquellas técnicas implantadas o que se implantarán en breve en su instalación y que usted cree que son buenas prácticas ambientales. Indique la siguiente información para cada técnica.

		Información
Descripción		
Beneficios ambientales obtenidos		
Efectos cruzados		
Datos de funcionamiento		
Aplicabilidad		
Aspectos económicos		
Motivo principal para su aplicación		
Instalaciones de ejemplo		
Bibliografía		

8.3 Anexo III: Tipos de residuos y de producción de residuos en la UE

[7, Monier y Labouze, 2001], [39, Milton, et al., 2000], [40, Milton y Becaud, 1998], [41, R.U., 1991], [42, R.U., 1995], [53, LaGrega, et al., 1994], [56, Babbie Group Ltd, 2002], [86, GTT, 2003], [100, PNUMA, 2000], [121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [122, Eucopro, 2003] [124, Iswa, 2003], [125, Ruiz, 2002], [126, Pretz, et al., 2003], [150, GTT, 2004].

En este anexo se resumen los tipos de residuos producidos en la UE y su clasificación, así como la producción de residuos en países individuales de la UE y en otros países europeos. Como se señaló en el capítulo 1, las instalaciones de tratamiento de residuos están concebidas para gestionar residuos. Este residuo es lo que entra (recibe el nombre de «materia prima» en otros sectores de la industria) en las instalaciones. Considerando el sector del tratamiento de residuos globalmente, se observa que las propiedades físico-químicas de dichas «entradas» pueden variar en gran medida. Los residuos pueden ser líquidos o sólidos (por ejemplo, desde el punto de vista de las propiedades físicas), orgánicos o inorgánicos (por ejemplo, desde el punto de vista de las propiedades químicas).

La Directiva marco europea de residuos los clasifica de acuerdo con las actividades que los generan y los sitúa en los veinte grupos que aparecen a continuación.

Código LER	Grupos de residuos tal y como se mencionan en la LER
01	Residuos de la prospección, extracción de minas y canteras y tratamientos físicos y químicos de minerales.
02	Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca; residuos de la preparación y la elaboración de alimentos.
03	Residuos de la transformación de la madera y de la producción de tableros y muebles, pasta de papel, papel y cartón.
04	Residuos de las industrias del cuerno, de la piel y textil.
05	Residuos del refinado del petróleo, de la purificación del gas natural y del tratamiento pirolítico del carbón.
06	Residuos de procesos químicos inorgánicos.
07	Residuos de procesos químicos orgánicos.
08	Residuos de la fabricación, formulación, distribución y utilización (FFDU) de revestimientos (pinturas, barnices y esmaltes vítreos), adhesivos, sellantes y tintas de impresión.
09	Residuos de la industria fotográfica.
10	Residuos de procesos térmicos.
11	Residuos del tratamiento químico de superficie y del recubrimiento de metales y otros materiales; residuos de la hidrometalurgia no férrea.
12	Residuos del moldeo y del tratamiento físico y mecánico de superficie de metales y plásticos.
13	Residuos de aceites (excepto los aceites comestibles y los de los capítulos 05 y 2).
14	Residuos de disolventes, refrigerantes y propelentes orgánicos (excepto los de los capítulos 07 y 08).
15	Residuos de envases; absorbentes, trapos de limpieza, materiales de filtración y ropas de protección no especificados en otra categoría.
16	Residuos no especificados en otro capítulo de la lista.
17	Residuos de la construcción y demolición (incluida la construcción de carreteras).
18	Residuos de servicios médicos o veterinarios o de investigación asociada (salvo los residuos de cocina y de restaurante no procedentes directamente de la prestación de servicios sanitarios).
19	Residuos de las instalaciones para el tratamiento de residuos, de las instalaciones externas de tratamiento para aguas residuales y de la preparación de agua para uso humano y de agua para uso industrial.
20	Residuos municipales (residuos domésticos y residuos asimilables procedentes de los comercios, industrias e instituciones), incluidas las fracciones recogidas selectivamente.

Nota: LER es la abreviatura de lista europea de residuos

Tabla 8.10: Clasificación europea de los residuos
Decisión del Consejo 2000/532/CE

Con el fin de ofrecer una instantánea de la situación de los residuos en Europa, en las siguientes tablas (tabla 8.11 a 8.13) se muestra la cantidad de residuos generados en cada Estado miembro y en otros países europeos para las categorías de residuos anteriormente mencionadas. Debe tenerse en cuenta que es posible que un residuo con las mismas características físico-químicas pueda aparecer con códigos diferentes.

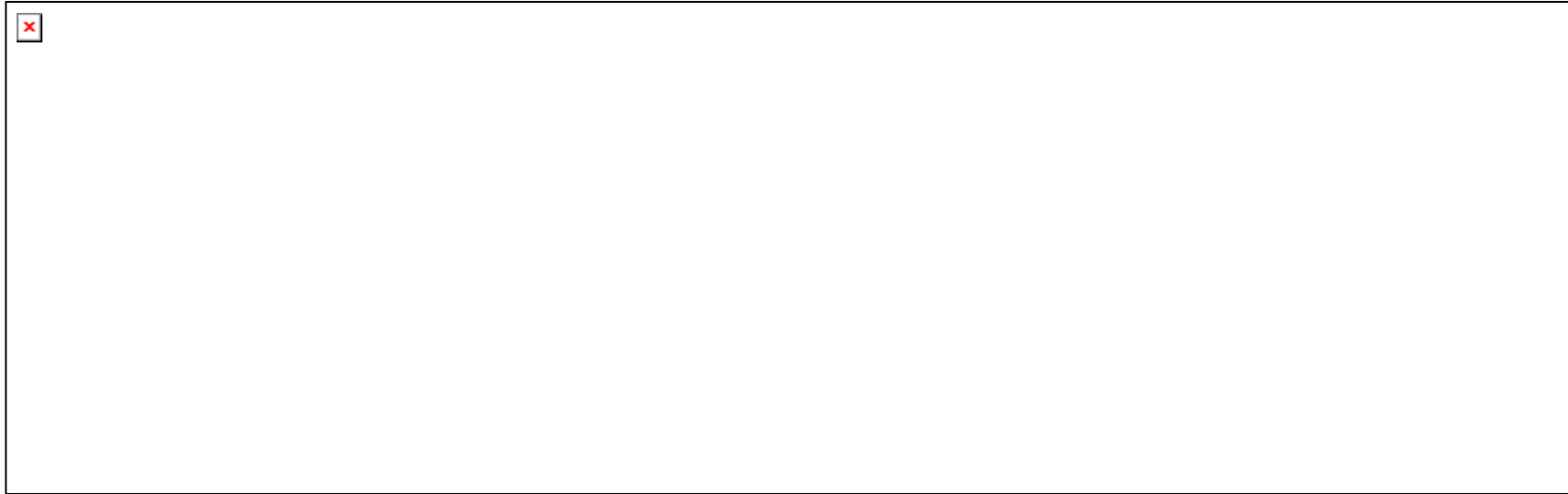


Tabla 8.11: Cantidad de cada tipo de residuo generado por cada país europeo
Nota: Los datos figuran en kilotoneladas por año. P: peligrosos, N: no peligrosos



Tabla 8.12: Porcentaje de cada tipo de residuo generado por cada país europeo
Nota: los datos figuran en porcentajes por año. El subtotal bruto corresponde al porcentaje de generación de residuos peligrosos y no peligrosos por cada país.
[10, ANPA y ONR, 2001], [19, Brodersen, et al., 2002], [21, Langenkamp y Nieman, 2001], [86, GTT, 2003], [127, Oteiza, 2002], [150, GTT, 2004]

	Municipales	Industriales	Agricultura	Extracciones mineras	Demoliciones	Lodos residuales	Peligrosos
Bélgica	3,5	27,0	53,0	7,1	0,7	0,7	0,9
Dinamarca	2,4	2,4	-	-	1,5	1,3	0,1
Francia	1,7	50,0	400,0	10,0	-	0,6	3,0
Alemania	19,5	61,0	-	9,5	12,0	1,7	6,0
Grecia	3,1	4,3	0,09	3,9	-	-	0,4
Irlanda	1,1	1,6	22	1,9	0,2	0,6	0,02
Italia	17,3	40,0	30,0	57,0	34,0	3,5	3,8
Luxemburgo	0,17	1,3	-	-	4,0	0,02	0,004
Países Bajos	6,9	6,7	86,0	0,1	7,7	0,3	1,5
Portugal	2,4	0,7	0,2	3,9	-	-	0,16
España	12,5	5,1	45,0	18,0	-	10	1,7
Reino Unido	35,0	70,0	250,0	25,0	32,0	1,0	4,5
Estados Unidos	209,0	760,0	150,0	14,0	32,0	10	275,0 ^a
Japón	48,0	312,0	63,0	26,0	58,0	2	6,6

Unidades en millones de toneladas
^a Incluye aguas residuales

Tabla 8.13: Cantidades de residuos estimadas en los países seleccionados OCDE (1991) y el Departamento de Medio Ambiente (1992) en [80, Petts y Eduljee, 1994]

En los siguientes apartados se ofrece información más concreta, clasificada por tipo de residuo. No se incluyen todos los tipos de residuos, puesto que en algunos casos el sector no es importante o no se ha facilitado información.

8.3.1 Residuos sólidos municipales (RSM)

En la tabla 8.14 se muestra un resumen de los distintos componentes de RSM en los Estados miembros, así como la producción total de RSM en algunos países europeos.

País	Papel	Textiles	Plásticos	Vidrio	Metales	Residuos biodegradables		Otros	Total
Austria	670	63	340	284	166	750	29 %	236	2509
Bélgica									5014
República Checa									3200
Chipre									370
Dinamarca	505		122	94	42	923	36 %	894	2580
Estonia									560
Finlandia	536			116	53	662	32 %	735	2102
Francia	6250	750	2750	3250	1000	7250	29 %	3750	25.000
Alemania									40.017
Grecia	640	144	272	144	160	1568	49 %	272	3200
Hungría									4300
Irlanda									1503
Italia	3300		1050	900	450	6450	43 %	2850	15.000
Luxemburgo	36	4	15	13	5	83	44 %	33	189
Países Bajos	1785	230	395	445	230	2630	38 %	1220	6935
Polonia									11.800
Portugal	1074	154	503	254	109	1627	36 %	811	4532
Eslovenia									1020
España	3025	689	1511	984	589	6303	44 %	1195	14.296
Suecia	1408	64	224	256	64	960	25 %	224	3200
Reino Unido	7400	400	2000	1800	1400	3800	19 %	3200	20.000
Noruega									2722

Los datos se expresan en kilotoneladas y corresponden a los años entre 1993 y 1997

Tabla 8.14: Composición de los residuos sólidos municipales en la UE y producción en distintos países europeos [59, Hogg, et al., 2002], [92, AEMA, 2002], [150, GTT, 2004]

En la tabla 8.15 se muestran los metales que pueden estar presentes en los residuos sólidos municipales.

Metal	Presente debido a
Cd	Pigmentos plásticos, baterías
Cr	Colores, pigmentos en plásticos, tintes textiles y curtido de pieles

Tabla 8.15: Metales presentes en residuos sólidos municipales
[113, COWI A/S, 2002]

8.3.2 Aguas contaminadas

En la tabla 8.16 se muestra la cantidad de agua contaminada que se genera en Francia.

Tipo de agua residual	Cantidad (kt/año)
Mezcla de agua, hidrocarburos y sedimentos	10

Tabla 8.16: Cantidad de agua contaminada que se genera en Francia.
[40, Militon y Becaud, 1998]

En la tabla 8.17 se describen los esfuerzos para reducir las cantidades de residuos y se ilustran con las estadísticas del estado federal alemán de Renania del Norte-Westfalia.

Distritos gubernamentales de RNW (Alemania)	Cantidades de residuos (m ³ /año)		
	En 1990	Cantidad prevista para 2005	
		Previsión de 1994 ¹	Previsión de 1996 ²
Arnsberg	278.300	204.000	102.600
Detmold	78.300	66.000	35.300
Düsseldorf	337.800	251.200	140.700
Colonia	264.400	206.000	98.700
Münster	83.400	69.500	59.600
Total	1.042.200	796.700	436.900
Valoración	100 %	76 %	42 %

RNW: Renania del Norte-Westfalia
¹ *Strategic Concept for Special Waste Disposal in NRW*, 4.ª edición, 1994, WAZ Press, Duisburg
² *Strategic Concept for Special Waste Disposal in NRW*, 5.ª edición, 1996, WAZ Press, Duisburg

Tabla 8.17: Residuos tratados en las instalaciones FQ en Renania del Norte-Westfalia, Alemania, en 1990 y cantidad prevista para 2005
[121, Schmidt y el Institute for environmental and waste management, 2002], [150, GTT, 2004]

Los cambios en las cantidades previstas de residuos que se tratarán en instalaciones FQ indican qué medidas son las que mayor éxito tienen a la hora de lograr reducciones eficaces de las cantidades de residuos. Entre ellas se incluyen medidas con producción integrada y mejoras en los procesos de producción y, especialmente, en las sustancias auxiliares y los aditivos.

A pesar de estas medidas para evitar y reducir las cantidades de los residuos, hay que seguir tratando los que se generan en el transcurso de la producción. No obstante, las reducciones de las cantidades de residuos con frecuencia pueden conducir a una asociación con un proceso de tratamiento más caro. Las instalaciones físico-químicas se adaptan constantemente a estos cambios desde el punto de vista técnico, de funcionamiento y de organización.

8.3.3 Lodos residuales

En la tabla 8.18 y 8.19 se muestra la cantidad de lodos residuales generados en algunos países europeos, así como la composición media de estos lodos.

País	Cantidad (kt de materia seca)
Austria	211,9
Bélgica	113
Dinamarca	200
Finlandia	158
Francia	878
Alemania	2661
Grecia	86
Irlanda	43
Italia	
Luxemburgo	13
Países Bajos	349
Portugal	239
España	787
Suecia	236*
Reino Unido	1193
Noruega	93
Datos correspondientes al año 1998, excepto *, que corresponde al año 1995	

Tabla 8.18: Cantidad de lodos residuales producidos en algunos países europeos [92, AEMA, 2002], [150, GTT, 2004]

Compuesto	Concentración (mg/kg materia seca)
N	3500 – 46.000
P	10.400 – 45.000
Cd	0,7 – 3,8
Cr	16 – 840
Cu	220 – 641
Hg	0,6 – 4
Ni	8 – 85
Pb	20 – 325
Zn	290 – 2580

Tabla 8.19: Rangos de contaminación y contenido de lodos residuales [92, AEMA, 2002]

8.3.4 Ácidos y bases residuales

La lista europea de residuos (LER) especifica varios ácidos y bases residuales (por ejemplo, los ácidos sulfúrico, hidrocórico, hidrofúrico, fosfórico y nítrico, hidróxido de calcio, sosa y amoníaco). Los HF no se regenera, sólo se neutraliza. Las bases normalmente no se regeneran, sino que se neutralizan. Una excepción podría ser la regeneración de los licores negros en el sector de la pasta para papel (que se trata en el BREF sobre papel y pasta para papel).

8.3.5 Adsorbentes de residuos

La adsorción de sustancias contaminantes en carbón activo, carbón vegetal y resinas de intercambio iónico ha sido una técnica de tratamiento común para eliminar los contaminantes (por ejemplo, DQO, COP, inorgánicos) de las aguas residuales y las emisiones gaseosas durante muchos años. El carbón activo también se utiliza para la eliminación de COV de sustancias gaseosas (por ejemplo, fabricación/formulación de pesticidas). Los procesos de regeneración del

carbón utilizado se han limitado fundamentalmente a tecnologías de reactivación térmica. Se han descubierto usos selectivos para las resinas cuando la valorización y la reutilización de contaminantes orgánicos es un objetivo importante o cuando los contaminantes se encuentran en concentraciones razonablemente elevadas. También pueden utilizarse para la eliminación y valorización inorgánicas (por ejemplo, eliminación del color en el sector azucarero, en el sector de los colorantes y en el del papel, para la eliminación de fenoles, para procesar nuevos antibióticos y para limpiar aguas de gran pureza). El carbón vegetal se utiliza fundamentalmente como combustible. Dado que se destruye mediante procesos de combustión, el carbón vegetal normalmente no se reactiva.

8.3.6 Catalizadores residuales

Los métodos catalíticos se usan cada vez más en la producción de productos químicos orgánicos e inorgánicos, en la tecnología del petróleo, en el procesamiento de combustibles sintéticos líquidos y gaseosos, en el control de la polución y en la transformación de la energía. En la tabla 8.20 se muestran algunos ejemplos del uso de catalizadores.

Sector industrial	Ejemplos
Elaboración de productos químicos inorgánicos	Hidrógeno, amoníaco, ácido sulfúrico, etc.
Elaboración de productos químicos orgánicos	Síntesis orgánica, hidrogenación, deshidrogenación, reacciones de deshidratación catalizadas por ácido, oxícloración.
Refinado de petróleo	Reformado, desulfurización, hidrodeseintegración, desintegración, isomerización, hidroacabado con aceite lubricante.
Técnicas de control de la contaminación	RCS de disminución de NO _x , combustiones de efluentes gaseosos, purificaciones.

Tabla 8.20: Sectores industriales donde se utilizan catalizadores [125, Ruiz, 2002]

El tipo de compuestos empleados como catalizadores depende del proceso, pero los metales, los óxidos metálicos y los ácidos son los que se utilizan con mayor frecuencia, tal y como se muestra en la tabla 8.21.

	Importancia	Ejemplos
Metales	Figuran entre los componentes de catalizadores industriales más utilizados y de mayor importancia.	Ag, Au, y los metales del grupo del platino. Metales de transición: Fe, Co, Ni, Mo, Ru, Rh, Pd, W, Re, Os, Ir y Pt. Metales de no transición: Cu, Zn, As, Se, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Au, Hg, Pb y Bi.
Óxidos metálicos	Son los catalizadores y los soportes de catalizadores más comunes.	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ - Al ₂ O ₃ , V ₂ O ₅ , ZnO, NiO, MoO ₃ , CoO, WO ₃ .
Sulfuros metálicos		MoS ₂ , WS ₂
Ácidos	Aislantes que muestran la transición de carácter básico a carácter anfotérico y ácido.	Na ₂ O, MgO, Al ₂ O ₃ [□] , SiO ₂ [□] , y P ₂ O ₅
Bases	Aplicaciones industriales limitadas.	Ba(OH) ₂ , Ca(OH) ₂ , Na
Catalizadores multifuncionales		Bi ₂ O ₃ .MoO ₃
Intercambiadores iónicos		
Complejos organometálicos		
Otros		Co (acetato) ₂ , aminas, peróxido de benzoilo, etc.

Tabla 8.21: Resumen de los tipos de catalizadores utilizados con fines industriales [125, Ruiz, 2002]

Teóricamente, un catalizador no cambia después de su uso. Sin embargo, un catalizador puede perder su actividad debido a la desactivación (por ejemplo, por envenenamiento con P, S, As, Se, Te, Bi, C, por ensuciarse o por sinterización) y redispersión de los centros activos de los catalizadores. Como consecuencia de ello, los catalizadores residuales están compuestos fundamentalmente por los mismos materiales que los catalizadores nativos, pero están contaminados con algunos componentes adicionales.

8.3.7 Residuos procedentes de los procesos de combustión

Los residuos procedentes de los procesos de combustión se generan durante la combustión de carbón, combustibles líquidos (pesados) o residuos en grandes instalaciones de combustión, calentadores y calderas industriales e incineradoras. En los procesos de combustión se generan dos tipos de residuos. Uno son las cenizas de fondo (escorias) generadas en la cámara de combustión y el otro corresponde a los residuos procedentes del tratamiento de gases de combustión (TGC) (en ocasiones se denominan residuos del «control de la contaminación atmosférica» o CCA) y se regula, de acuerdo con la legislación europea, como residuo peligroso. Los residuos FGT pueden proceder de cualquier proceso de combustión (por ejemplo, incineradoras, instalaciones de combustión de gran tamaño, calderas industriales) y normalmente se tratan antes de reutilizarse o verterse de forma controlada.

El término «residuo CCA» se utiliza en la bibliografía con significados ligeramente diferentes: en sentido estricto, el término sólo abarca los residuos sólidos (es decir, lodos y yeso de los sistemas húmedos, reactivos en exceso y productos de reacción de sistemas secos/semisecos) generados para minimizar las emisiones de los componentes ácidos de los gases de combustión. Teniendo en cuenta esta definición, las cenizas volantes no deberían incluirse. No obstante, desde el punto de vista de la gestión, todos estos residuos sólidos (la ceniza volante, que es el componente principal, el más importante por cantidad e incluso ceniza de caldera en algunos Estados miembros) se manejan normalmente combinados (especialmente en los sistemas seco y semiseco).

Los residuos del TGC se utilizan incluyendo todos los tipos de residuos sólidos generados en o después de los sistemas de valorización térmica (caldera/economizadores). Esto incluye ceniza volante, ceniza de caldera, cal y productos de reacción (seco/semiseco), lodos de tratamientos de soluciones con reactores y yeso (húmedo). No se hace especial hincapié en gestionar el lodo y el yeso por separado, ya que las cantidades son relativamente pequeñas en comparación con la ceniza volante. En la tabla 8.22 y 8.23 se indican los residuos generados por centrales eléctricas alimentadas con carbón y el total en algunos países europeos.

País	Ceniza volante	Escoria y ceniza de fondo	Yeso	Otros productos procedentes de la limpieza de gases	Lodo	Total ¹
Austria	334,5	24,9	74,5	2,0	0,3	436,2
Bélgica						1135
Dinamarca	1158	152	374	100	n.d.	1784
Finlandia						1274
Francia	1840 - 1940					2100
Alemania						25.310
Grecia		10				10.080
Irlanda						450
Italia	872	182	4	3	2	1063
Luxemburgo						
Países Bajos						1525
Portugal	272	30				302
España		531				531
Suecia						600
Reino Unido	5100	1400				6500
Noruega						

Los datos en kt/año se corresponden a los años de 1993 a 1999 según el país. Los datos contienen las cenizas (de fondo y volantes), así como los residuos procedentes de la limpieza de gases de combustión (yeso).

¹ Corresponde a los residuos generados en las centrales de producción eléctrica.

Tabla 8.22: Residuos de centrales eléctricas alimentadas con carbón
[40, Militon y Becaud, 1998], [92, AEMA, 2002], [95, CAR/PL, 2003]

Datos en kilotoneladas		Tipo de sistema de TGC			
País		Seco/semiseco	Húmedo	No especificado	Total
Austria	Residuos	0	8,1	0	8,1
	Desechos	0	450,0	0	450,0
Bélgica	Residuos	2,7	0	4,4	7,1
	Desechos	90,1	0	101,2	191,3
Dinamarca	Residuos	26,6	30,9	5,1	62,6
	Desechos	745,6	1348,8	234,6	2329,0
Alemania	Residuos	284,4	377,4	13,2	675,0
	Desechos	3807,0	10.027,0	247,0	14.081,0
Francia	Residuos	83,2	122,4	5,9	211,5
	Desechos	551,7	1971,4	121,6	2644,7
Hungria	Residuos	11,1	0	0	11,1
	Desechos	352,2	0	0	352,2
Italia	Residuos	0	0	50,2	50,2
	Desechos	0	0	1109,4	1109,4
Países Bajos	Residuos	0	54,0	30,4	84,4
	Desechos	0	1492,0	887,0	2379,0
Noruega	Residuos	0,4	3,4	0	3,8
	Desechos	17,5	126,7	0	144,2
Portugal	Residuos	27,4	0	0	27,4
	Desechos	321,8	0	0	321,8
España	Residuos	58,8	0	0	58,8
	Desechos	817,9	0	0	817,9
Suecia	Residuos	43,0	29,0	14,8	86,8
	Desechos	699,8	901,8	327,4	1929,0
Reino Unido	Residuos	30,9	0	0	30,9
	Desechos	1074,1	0	0	1074,1
Suiza	Residuos	0	65,7	0	65,7
	Desechos	0	2462,6	0	2462,6
Total	Residuos	396,3	530,3	148,0	1074,6
	Desechos	6266,2	12.819,5	3787,9	22.873,6

Tabla 8.23: Cantidades de residuos del TGC en algunos países europeos
[124, Iswa, 2003], [152, GTT, 2004]

En la tabla 8.24 se ofrece un resumen de los principales residuos del TGC sólidos.

Componente sólido	Sistemas seco/semiseco	Sistemas húmedos
Ceniza volante/ceniza de caldera	Siempre	Siempre
Reactivos en exceso+ productos de reacción	Siempre: puede mezclarse con ceniza volante; contiene sales Cl o yeso.	-
Absorbente de dioxinas	Opcional: se incluye normalmente.	Opcional: normalmente se maneja por separado o se reutiliza como agente neutralizador en plantas de tratamiento de aguas residuales.
Lodo	-	Siempre: a veces se mezcla con ceniza volante/ceniza de caldera (modelo Bamberg).
Yeso	Incluido en productos de reacción.	Se obtiene si no hay efluentes líquidos: se maneja por separado si se pretende realizar recuperación.
Sales Cl	Incluido en productos de reacción. La recuperación es posible en algunos casos.	Se obtiene si no hay efluentes líquidos: la recuperación es posible en algunos casos.

Tabla 8.24: Principales componentes de residuos del TGC
[124, Iswa, 2003], [150, GTT, 2004]

8.3.8 Aceite usado

«Aceite usado» (AU) es un término definido por la legislación europea como cualquier aceite industrial o lubricante basado en minerales que no es apto para el uso que se le atribuyó en un principio; particularmente se trata de aceites de motores de combustión usados y aceites de cajas de cambios, aceites lubricantes minerales, aceites para turbinas y aceites hidráulicos (Directiva del Consejo 85/101/CEE). La legislación europea clasifica los AU como residuos peligrosos y éstos deben recogerse para que puedan tratarse con seguridad. El aceite usado contaminado con más de 50 ppm de PCB no se incluye en esta categoría porque la legislación de la UE lo trata de manera diferente.

Los AU abarcan una amplia gama de materiales, con diferencias derivadas de su uso anterior en distintas condiciones. En este documento, se entiende que el término «aceite usado de lubricante» incluye sólo a los AU derivados del uso de aceites lubricantes. Los aceites vertidos recuperados de sistemas de drenaje, refinerías, almacenes de combustibles, etc. son otro tipo de aceites usados. Es posible que terminen en sistemas de recogida de aceites usados de lubricantes, donde pueden disminuir el valor del aceite usado de lubricante. Los filtros de aceite y los filtros de carburadores contienen alrededor de un 30 % de hidrocarburos.

Los aceites usados de lubricantes pueden clasificarse según las consideraciones del mercado de la siguiente manera:

- aceites de motor (negros): constituyen más del 70 % del aceite usado de lubricante. La mayor fuente potencial de aceites usados de lubricantes procede de los vehículos, especialmente de los aceites de motor;
- aceites industriales negros: constituyen aproximadamente el 5 % de los aceites usados de lubricantes;
- aceites industriales ligeros: constituyen aproximadamente el 25 % de los aceites usados de lubricantes. Son relativamente limpios y su valor de mercado es alto. Su mercado es muy específico e independiente de las formas de regeneración de suministro clásicas.

La composición del aceite usado de lubricante es cada vez más compleja debido a distintos factores:

- el uso creciente de agentes dispersantes, así como ésteres y polioalfaolefinas, por ejemplo, para prolongar la vida del aceite. No obstante, por consiguiente, el AU resultante es cada vez más complejo y más sucio;
- la sustitución progresiva de los autolubricantes convencionales basados en minerales por productos «sintéticos» que han mejorado las características de rendimiento. Mientras que algunos de estos productos sintéticos pueden regenerarse con aceites minerales, otros (por ejemplo, los que se basan en ésteres) son menos adecuados para la regeneración porque tienden a ser menos estables en presencia de elementos cáusticos (a menudo utilizados en procesos de regeneración) y menos estables en la fase de hidroacabado.

Una baja proporción de aceite de base (inferior al 2 % del consumo total) se origina en fuentes agrícolas, produciéndose a partir del girasol o la colza. Estos biolubricantes se utilizan en aplicaciones donde sus características constituyen una ventaja real, en concreto:

- su buena biodegradabilidad. Es importante cuando la lubricación se pierde en el medio, por ejemplo, el suelo y el agua. Puede producirse durante su uso (cortar madera con motosierras, barcos, lubricantes para cuchillas, etc.);
- su elevado índice de viscosidad y su baja volatilidad, por ejemplo.

El destino de 1,1 millones de toneladas de aceites usados de lubricantes generados en Europa en 1993 no se registró. Esto constituye aproximadamente el 20 % del total del mercado de los aceites lubricantes vírgenes. En la siguiente figura 8.1 se muestra que la cantidad de aceites usados valorizados en la UE ha aumentado a ~50 %. En 1995, la Comisión Australiana de Industria [13, Marshall, et al., 1999] calculó que sólo se recogía el 44 % del total de aceites usados existentes en todo el mundo.



Figura 8.1: Aceites de base consumidos y aceites usados de lubricantes generados en la UE [7, Monier y Labouze, 2001]

Puede encontrarse más información sobre la cantidad que se recoge en cada Estado miembro y sobre asuntos relacionados con el mercado de los aceites usados en [7, Monier y Labouze,

2001]. A continuación se ofrece más información sobre la tipología de los lubricantes y los distintos tipos de AU.

Lubricantes y aceites usados

En la tabla 8.25 se detalla:

- la tipología de los lubricantes y la división del consumo de lubricantes de acuerdo con esta tipología,
- la tasa media que se considera para cada categoría de lubricante para evaluar el AU generado durante su uso,
- el tipo de AU, los aceites negros (procedentes de motores o de origen industrial) o ligeros que se generan en cada caso.

<i>Consumo de lubricantes</i>					<i>AR</i>		
Categoría	Aplicación	Uso	Consumo europeo 1999 (kt)	% del consumo	Proporción (aceite consumido/AR generado)	AR 1999 (kt)	Tipo de AU
Aceites para motor	Aceites para motores de turismos	Para disminuir la fricción entre las partes móviles del motor	2098	42 %	59 %	1238	Aceites negros
	Aceites de primera carga para turismos						
	Aceites para motores de vehículos comerciales						
	Aceites de primera carga para vehículos comerciales						
	Aceites diésel para múltiples funciones						
	Aceites para motores de dos tiempos						
	Aceites para otros motores						
Aceites para engranajes y transmisiones	Fluidos para transmisión automática	Para impedir el desgaste de las transmisiones y la dirección, así como la oxidación y la corrosión	1149	23 %	24 %	276	Aceites negros
	Aceites para engranajes de automoción						
	Aceites para engranajes industriales						
	Aceites para transmisiones hidráulicas						
	Aceites para amortiguadores						
Grasas	Grasas de automoción	Para disminuir la fricción entre las partes móviles del motor	150	3 %	27 %	40	Aceites negros
	Grasas industriales						
Aceites para trabajar los metales	Aceites para templar	En el trabajo de los metales, para lubricar y enfriar tanto las herramientas como los metales que se trabajan	350	7 %	0 %	0	Perdidos
	Aceites puros para trabajar los metales						
	Aceites solubles para trabajar los metales						
	Productos para evitar la oxidación						
Aceites muy refinados	Aceites para turbinas		150	3 %	48 %	72	Aceites ligeros
	Aceites eléctricos						
Otros aceites	Aceites para compresores	Para impedir el desgaste de las transmisiones y la dirección, así como la oxidación y la corrosión	400	8 %	61 %	244	Aceites negros
	Lubricantes para máquinas en general						
	Otros aceites para usos distintos a la lubricación						
Aceites de proceso	Aceites de proceso		699	14 %	77 %	538	Aceites ligeros
	Aceites blancos técnicos						
	Aceites blancos médicos						
TOTAL			4996	100 %	50 % de media	2408	

Tabla 8.25: Aceites usados lubricantes que se pueden recoger en la UE [7, Monier y Labouze, 2001]

Uso final	Ventas en 1999 (toneladas)	% valorizable ¹	Potencialmente valorizables (toneladas)
Motores diésel y gasolina	249.488	65	162.167
Motores agrícolas	15.000	65	9750
Otros motores	7288	0	0
Motores marítimos	37.728	25	9432
Motores para aviación y turbinas	2214	50	1107
Total de aceites para motores	311.718		182.456
Usos hidráulicos y transmisión	96.352	80	77.082
Otros aceites para engranajes	53.815	80	43.052
Total de aceites para engranajes/transmisión	150.167		120.134
Total de grasas	11.815		1177
Total de aceites para el trabajo de los metales	35.548		7110
Aceites para turbinas y usos eléctricos	27.070	95	25.717
Lubricantes para máquinas en general	15.219	50	7610
Aceites industriales no lubricantes	11.792	10	1179
Otros aceites industriales	10.939	20	2188
Total de otros aceites	65.020		36.693
Total de aceites para facilitar la elaboración	129.908		0
Entregas para fusiones	86.151	50	43.075
Total de todos los lubricantes	790.327	(49,4)	390.646

¹Cálculos basados en el estudio CONCAWE WQ/STF-26

Tabla 8.26: Cálculos (en toneladas) de los aceites usados lubricantes que se pueden recoger en el Reino Unido
[7, Monier y Labouze, 2001]

8.3.9 Disolventes residuales

En este documento, debe entenderse que el término «disolvente residual» incluye todos los residuos procedentes de sustancias orgánicas utilizadas como disolventes (incluyendo las que se utilizan en procesos químicos orgánicos), en procesos de fabricación, formulación y suministro, así como los que se utilizan en revestimientos (pinturas, barnices y esmaltes vítreos), adhesivos, obturadores y tintas de impresión.

País	Producción anual (kt/año)	Tratados (kt/año)
ES		127
FR	800	90,7
IT		58,3

Tabla 8.27: Producción de disolventes y tratamiento de disolventes residuales
[40, Militon y Becaud, 1998], [95, CAR/PL, 2003]

8.3.10 Plásticos residuales

Los plásticos son fundamentalmente polímeros orgánicos con distintas composiciones. Los polímeros típicos son el poliestireno (PS), el polietileno tereftalato (PET), polipropileno (PP), poliuretano (PU), poliacrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), policarbonato (PC), poliamidas (PA), polibutileno tereftalato (PBT), polietileno (PE), cloruro de polivinilo (PVC), etc. Los plásticos residuales se diferencian de acuerdo con su utilización tal y como se muestra a continuación:

Sectores	Polímeros contenidos en el residuo plástico
Embalaje	PE, PP, PS, PET, etc.
Automoción	PP, PU, ABS, etc.
Electricidad	PS, ABS, PP, etc.
Electrónica	PC, PA, PBT, etc.
Edificación + construcción	Espumas: PU, PS expandidos, mezcla de PS, etc. Tuberías: PE, PVC, etc.
Agricultura (películas)	PE

Tabla 8.28: Plásticos residuales
[58, CEFIC, 2002], [150, GTT, 2004]

Los requisitos para cada tipo de utilización difieren ampliamente y es el usuario, normalmente un productor de derivados, quien elige el plástico según la proporción coste/rendimiento. En la Tabla 8.29 se muestran algunos ejemplos de metales presentes en plásticos.

Metal	Uso	Comentario
Pb	Estabilizador de PVC	Aproximadamente 0,7 – 2 % Pb como estabilizador en muchos tipos de PVC rígido para uso exterior.
	Pigmentos en plástico	El cromato de plomo para los colores rojo y amarillo contiene un 64 % de plomo.
Cd	Estabilizadores (por ejemplo, PVC)	Aproximadamente 0,2 %, hasta un máximo de 0,5 % de cadmio utilizado como estabilizador de PVC rígido para aplicaciones exteriores (perfiles de ventanas, revestimientos).
	Pigmentos	
Cr (Cr (III) y Cr (VI))	Colores y pigmentos	

Tabla 8.29: Presencia de metales en plásticos
[113, COWI A/S, 2002], [150, GTT, 2004]

8.3.11 Maderas residuales

Las maderas contaminadas pueden derivarse de postes telefónicos y para tendidos eléctricos, soportes de vías de tren y todo tipo de maderas tratadas para uso exterior. Este tipo de madera normalmente está tratada y algunos de los productos que se utilizan para ello pueden contener metales. Estos tratamientos se basan en creosota y pentaclorofenol, sales metálicas, sulfato de cobre, tratamientos CFK (tratamientos con Cu, F y Cr), tratamientos CCB (tratamientos con Cu, Cr y B) o tratamientos CCA (tratamientos con Cu, Cr y As). En la tabla 8.30 se muestran algunos datos sobre las cantidades de este tipo de residuos generados en un Estado miembro (Francia).

Tipo de madera contaminada	Cantidad de residuo generado por año	
	(m ³ /año)	(t/año)
Madera tratada con creosota	150.000	75.000
Madera tratada con CCA	80.000	40.000

Tabla 8.30: Cantidad de madera contaminada que se genera
[40, Militon y Becaud, 1998]

8.3.12 Residuos de cianuro

Los residuos de cianuro suelen derivarse de soluciones que se han utilizado para una gran variedad de operaciones en los sectores del metal o el electrochapado, como soluciones de limpieza, deslustrado, impresión y electrochapado. Normalmente, estos residuos consisten en sales de cianuro líquido o sólido. Los residuos de cianuro también se derivan de sólidos

fundidos en un recipiente o en forma de bloque cuando las sales fundidas se han utilizado con fines de tratamiento térmico.

El volumen de residuos de cianuro generados se ha reducido significativamente en los últimos años, debido fundamentalmente a la sustitución de limpiadores basados en cianuro por agentes activos superficiales y a la utilización de soluciones de revestimiento de pirofosfato de cobre en lugar de cianuro de cobre.

8.3.13 Otros residuos inorgánicos

Los residuos que contienen plata se derivan fundamentalmente del procesamiento de películas, pero en menor medida también pueden proceder del sector de los trajes y del sector dental, que también produce residuos contaminados con mercurio.

8.3.14 Residuos de materiales cerámicos refractarios

El nivel de contaminación de los materiales cerámicos refractarios depende de sus usos. Por ejemplo, se sabe que los materiales cerámicos utilizados en la combustión de fuelóleo pesado contienen cadmio, vanadio, níquel y azufre, y que la presencia del azufre es común en los materiales cerámicos utilizados en petroquímica. La cantidad de estos residuos generados en Francia es de 200 kt [40, Militon y Becaud, 1998].

8.3.15 Residuos peligrosos del sector de la construcción y la demolición

En la tabla 8.31 se muestra la cantidad de residuos peligrosos generados en el sector de la construcción y la demolición de algunos países europeos.

País	Cantidad (kt)
AT	8,4
DE	490,0
DK	8,4
EL	0,9*
ES (Cataluña)	185,5
IE	159,0
Datos de 1996 excepto para DE, que corresponden a 1993	
* Datos referidos únicamente al amianto	

Tabla 8.31: Cantidad de residuos peligrosos generados en el sector de la construcción y la demolición de algunos países europeos
[92, AEMA, 2002], [95, CAR/PL, 2003]

8.3.16 Residuos contaminados con PCB

Algunos tipos de residuos contaminados con PCB son transformadores eléctricos, condensadores, aceites de transformación y aceites usados (la legislación europea considera que los aceites usados contaminados con más de 50 ppm de PCB son un residuo especial que no puede tratarse de la misma forma que los aceites residuales). Algunos materiales comunes también pueden contaminarse con PCB (suelos, materiales de construcción, residuos de revestimientos, otros desechos, etc.). Éstos pueden descontaminarse normalmente si se tratan con un disolvente, y el disolvente resultante y la mezcla de PCB pueden entonces transformarse.

Los usos de PCB pueden clasificarse en tres categorías:

Aplicaciones cerradas

Como su propio nombre indica, los usos cerrados son aquéllos en los que los PCB están encerrados y no pueden escapar durante su uso normal. Los principales ejemplos son los transformadores y condensadores, que son piezas selladas de equipos electrónicos. Accidentes aparte (un incendio, un daño mecánico, etc.), el PCB permanecerá en un entorno seguro, al menos hasta el final de la vida útil del equipo en el que se encerró.

Aplicaciones parcialmente cerradas

En ellas el aceite que contiene el PCB se utiliza como fluido para que se mueva durante el uso, por ejemplo, como fluido de transferencia térmica o fluido hidráulico, en bombas o conmutadores. Este movimiento implica la presencia de juntas y sellos en el equipo, ofreciendo la posibilidad de que dichos componentes del equipo desprendan pequeñas cantidades de fluido durante el funcionamiento normal.

Aplicaciones abiertas

En las aplicaciones abiertas, los PCB se incorporan generalmente a una formulación, normalmente en cantidades pequeñas o muy pequeñas. Dichos productos pueden ser lubricantes, adhesivos, pinturas, tintas, etc. Los PCB pueden dispersarse mucho según cada aplicación y es prácticamente imposible destruirlos. La solución a este problema se encuentra en un nivel anterior, es decir, prohibir la incorporación de PCB a dichos productos; esto, por supuesto, ya se hace en la mayoría de los países, aunque es probable que muchos productos que se fabricaron antes aún estén en uso.

Esta clasificación es útil porque indica la probabilidad de que se emita PCB, intencionada o inintencionadamente, provocando así un problema de contaminación con PCB.

8.4 Anexo IV. Sistemas de garantía de calidad para combustibles secundarios recuperados (CSR)

[126, Pretz, et al., 2003]

Existen varias iniciativas para caracterizar y poner en práctica sistemas de garantía de calidad para combustibles residuales sólidos (por ejemplo, CSR). Éstas pueden dividirse en iniciativas basadas en el ámbito europeo o en un ámbito nacional. Algunas se han descrito en el apartado 3.5.4.4; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** del presente documento.

Sistemas de garantía de calidad

Parte de la descripción de las mejores técnicas disponibles se refiere a la logística del procesamiento de CSR. Al elegir y utilizar materiales residuales concretos, los productores de CSR determinan un tipo de garantía de calidad. Los sistemas de garantía de calidad ya existen y en la actualidad se están creando nuevos reglamentos.

En el pasado, los CSR se generaban fundamentalmente a partir de procesos relacionados con los residuos como monolotes, que son más fáciles de utilizar debido a sus cualidades constantes. En la actualidad, también se utilizan en la producción de CSR fracciones de residuos sólidos municipales de elevado poder calorífico y otros residuos mixtos, lo que hace que resulte más urgente un sistema de garantía de calidad. Con este sistema se pretenden alcanzar y garantizar calidades constantes para los CSR con el fin de aumentar su aceptación por parte de los usuarios finales y las autoridades pertinentes. Los requisitos se refieren fundamentalmente a la calidad del producto. En los siguientes apartados se presentan los resultados de un estudio sobre los sistemas de garantía de calidad que existen en la actualidad y sobre las innovaciones en curso.

RAL

Ya en 1999, el Bundesgütegemeinschaft für Sekundärbrennstoffe e.V. (BGS e.V.) alemán puso en marcha la etiqueta de calidad GZ 724, que se concede a los productores de CSR que cumplen determinados requisitos de calidad y coherencia. Los estándares que se aplicaron en un principio se referían al sector del cemento y las centrales eléctricas, donde los CSR deben cumplir los criterios estipulados en los anexos 1 y 2 de la GZ 724. El anexo 1 contiene una lista de todos los residuos permitidos que puede utilizarse como base para el CSR. En el anexo 2 se establecen los valores que se deben cumplir. Dichos valores se muestran en la tabla 8.32. Se realizan comprobaciones en dos fases del proceso de aprobación, así como en los procedimientos de supervisión.

Fase 1:

Se analizan, de acuerdo con determinados estándares, tres muestras tomadas por un supervisor independiente y siete muestras tomadas de un depósito y que proceden de un sistema de autocontrol. Para los contenidos de metales pesados:

- el valor medio de las diez muestras no debe superar los valores medios permitidos en la tabla 8.32,
- ocho de las diez muestras no deben superar los valores «percentil 80.º» determinados en la tabla 8.32 (aplicación de la «norma 4 de 5»).

Fase 2:

Si en la fase 1, la media o la «norma 4 de 5» no se cumple, se eligen otras diez muestras del depósito y se examinan en relación con el/los parámetro(s) que no se cumplía(n). El análisis que se presenta a continuación muestra algunos procedimientos empleados en el nivel 1:

- los valores medios de las 20 muestras no deben superar los valores medios permitidos que aparecen en la tabla 8.32 y
- 16 de las 20 muestras no deben superar los valores del «percentil 80.º» de la tabla 8.32 (aplicación de la «norma 4 de 5»).

Otros parámetros que deben documentarse son el poder calorífico, la humedad, el contenido de ceniza y el contenido de cloro.

Estos valores no deben considerarse límites estrictos. Las condiciones se mantienen si cuatro de cinco valores atípicos están aún por debajo del percentil 80.º. Los valores atípicos con frecuencia aparecen en análisis de residuos y esta norma es específica sobre el carácter de los residuos. El valor que sirve como pauta es la media debido a las obvias bajas concentraciones que aparecen en los residuos y los análisis ambientales. Los contenidos de metales pesados se establecen aplicando los métodos de prueba DIN o DIN EN ISO. El método de digestión se aplica con agua regia en un sistema cerrado de microondas.

	Contenido de metales pesados ⁴⁾			
	media (mg/kgDM)		Percentil 80.º (mg/kgDM)	
Cadmio	4		9	
Mercurio	0,6		1,2	
Talio	1		2	
Arsénico	5		13	
Cobalto	6		12	
Níquel	25 ¹⁾	80 ²⁾	50 ¹⁾	160 ²⁾
Selenio	3		5	
Telurio	3		5	
Antimonio	25		60	
Plomo	70 ¹⁾	190 ²⁾	200 ¹⁾	- ³⁾
Cromo	40 ¹⁾	125 ²⁾	120 ¹⁾	250 ²⁾
Cobre	120 ¹⁾	350 ²⁾	- ³⁾	- ³⁾
Manganeso	50 ¹⁾	250 ²⁾	100 ¹⁾	500 ²⁾
Vanadio	10		25	
Estaño	30		70	
Berilio	0,5		2	

¹⁾ Para combustibles sólidos recuperados procedentes de residuos específicos de la producción.
²⁾ Para combustibles sólidos recuperados procedentes de las fracciones de elevado poder calorífico de los residuos municipales.
³⁾ Restringido hasta que en el procesamiento del combustible se facilite una base de datos segura.
⁴⁾ Los contenidos de metales pesados que se mencionan son válidos hasta un poder calorífico de ≥ 16 MJ/kg para las fracciones de elevado poder calorífico de los residuos municipales y hasta un poder calorífico de PCN_{MS} de ≥ 20 MJ/kg para la producción de residuos específicos. Para poderes caloríficos que no estén dentro de este límite, deben reducirse consecuentemente los valores mencionados, puesto que no se permite un aumento.

Tabla 8.32: Contenidos de metales pesados que deben cumplirse de acuerdo con BGS [126, Pretz, et al., 2003]

Además, el BGS e.V. solicita un procedimiento de aprobación (primera inspección) y otro de control, que incorpore un sistema de autocontrol y un control independiente. También se planifica una reinspección. En el anexo 2 de la GZ 724 se definen los procedimientos de la toma de muestras, que cubren todos los exámenes analíticos y los reglamentos.

Procedimiento de reconocimiento (primera inspección)

Para conseguir la etiqueta de calidad el solicitante tiene que superar el procedimiento de aprobación. La primera supervisión la realiza una institución de inspección neutral que valora las técnicas aplicadas, a los trabajadores y las instalaciones. Los CSR tienen que cumplir las normas establecidas en el anexo 2. Además, el solicitante debe verificar sus conocimientos prácticos y especializados, su fiabilidad y el permiso oficial para que funcione la instalación. También debe demostrar que es capaz de implantar un sistema de autocontrol continuo. Algunas partes de este autocontrol pueden subcontratarse a un instituto de inspección neutral de acuerdo con el BGS e.V., pero éste no puede realizar la supervisión independiente a la vez.

Autocontrol

El autocontrol se refiere al control del proceso de producción y lo lleva a cabo la propia empresa o lo subcontrata como se ha explicado antes. El material entrante debe documentarse utilizando un balance de masas de acuerdo con el código de la lista europea de residuos (LER), por ejemplo, enumerando también la masa, la derivación, parámetros físico-químicos y la salida como CSR generados. Los CSR que se generan tienen que aprobarse de conformidad con los requisitos del anexo 2.

Control independiente

El control independiente lo realiza un instituto de inspección especializado nombrado por el BGS e.V. Se controla la calidad de los CSR y se revisa la integridad y razonabilidad de la documentación de autocontrol. También se evalúa la situación particular del proceso de aprobación. Los intervalos de control dependen de la cantidad de CSR que se produce anualmente.

Reinspección

Se realiza una reinspección en un período de cuatro semanas si, en el marco de la supervisión independiente, el supervisor detecta algún fallo en la garantía de la calidad. Si en la reinspección se detectan errores, se considera que la empresa no ha superado la supervisión. Las acciones necesarias posteriores se especifican en las instrucciones de implantación para otorgar y utilizar la etiqueta de calidad del BGS e.V.

El BGS e.V. puede imponer sanciones según la irregularidad. Puede tratarse de una amonestación o incluso de una cancelación del derecho a utilizar la etiqueta.

SFS 5875

El sistema finlandés de eliminación de residuos se basa en la recogida individual de residuos para reciclaje y para producción de CSR. En las calderas finlandesas se utilizan distintos residuos sólidos con un elevado estándar técnico, garantizando una producción energética de gran eficacia y bajos niveles de emisiones. La aplicación de CSR a la caldera finlandesa multicomcombustible se considera «adecuada». Las normas se refieren a las fracciones recogidas por separado, de residuos sólidos y con elevado poder calorífico o a fracciones secas de elevado poder calorífico derivadas de residuos domésticos. El reglamento define las operaciones y exige un control sobre la producción de CSR, y hace referencia a la totalidad de la cadena de gestión de residuos, desde la fuente del papel recuperado de residuos hasta su eliminación. Para cada parte de la cadena de eliminación, la norma requiere una persona que se encargue y asuma la responsabilidad de controlar las exigencias técnicas y de calidad.

De manera similar a la norma del BGS e.V., los anexos de la norma finlandesa definen requisitos específicos relativos a los límites para los metales pesados, así como para el marco del análisis, la toma de muestras, etc. Deben establecerse y mantenerse los límites, así como los contratos que cubren los reglamentos.

Operación de supervisión

El cumplimiento de la norma debe garantizarse con contratos y condiciones de entrega estipuladas entre los respectivos grupos de la cadena de eliminación. Las reglas relativas al autocontrol, la supervisión independiente o los procedimientos de aprobación no se vuelven a definir en esta norma. Así pues, será preciso seguir el reglamento del instituto de normalización.

Requisitos de calidad y clases

En comparación con la norma del BGS e.V., la norma finlandesa se divide en tres clases de calidad. En Finlandia, para categorizar los CRS se analizan siete elementos. Los valores límites para los metales pesados se facilitan para cadmio y mercurio. Además, para realizar una clasificación es preciso un análisis de los contenidos de cloro, azufre, nitrógeno, potasio y sodio. En la tabla 8.33 se presentan los criterios para realizar la clasificación según la calidad. El aluminio metálico no se permite en la clase de calidad I (1) pero se acepta dentro de los límites de precisión (dos decimales). El contenido de aluminio metálico de CSR de la clase de calidad

II (2) ya se ha reducido en los pasos de clasificación y procesamiento posterior. Para los CSR de la clase de calidad III (3) es necesario satisfacer el contenido de aluminio metálico por separado. Los límites dados se refieren a un volumen de CSR de $\leq 1000 \text{ m}^3$ o al volumen que se produce o entrega en un mes.

Parámetro	Unidad	Clases de calidad		
		I	II	III
Cloro	peso -%	<0,15	<0,5	<1,5
Sulfuro	peso -%	<0,2	<0,3	<0,5
Nitrógeno	peso -%	<1,0	<1,5	<2,5
Potasio y sodio	peso -%	<0,2	<0,4	<0,5
Aluminio (metálico)	peso -%	- ¹⁾	- ²⁾	- ³⁾
Mercurio	mg/kg	<0,1	<0,2	<0,5
Cadmio	mg/kg	<1,0	<4,0	<5,0
¹⁾ El aluminio metálico no está permitido pero se acepta dentro de los límites de precisión. ²⁾ El aluminio metálico se minimiza por separación de fuentes y en el proceso de producción de combustible. ³⁾ El contenido de aluminio metálico se acuerda por separado.				

Tabla 8.33: Clases de calidad de acuerdo con SFS 5875/13/ [126, Pretz, et al., 2003]

En principio, la calidad de los CSR se especifica según la tabla 8.33. Otra posibilidad para concretar las características de los CSR es basarlas en el contenido y la cantidad de los parámetros. Es posible que la cantidad de parámetros necesite más límites y valores para ampliarse a las clases de calidad definidas. En relación con el análisis de los parámetros físico-químicos, se aplican las respectivas normas ISO.

CEN/BT/TF 118

El grupo operativo 118 del CEN «Combustibles sólidos recuperados» se formó en abril de 2000. Se estableció para elaborar un informe técnico sobre la producción y aplicación de CSR en la UE, así como para crear un programa de trabajo como base para una futura norma europea. El modelo de clasificación europeo se basará en las características del CSR, su material originario y su origen.

El informe concluye que era realmente necesario desarrollar una norma europea. El CEN ha recibido el encargo de crear, como primer paso, un conjunto de requisitos técnicos relativos al uso de los CSR para recuperar energía en las instalaciones de incineración o coincineración de residuos. En segundo lugar, el CEN ha recibido el encargo de transformar este conjunto de requisitos técnicos en normas europeas.

ÖG SET

En un proyecto conjunto del Österreichische Gütegemeinschaft für Sekundärenergieträger (ÖG SET), se ha desarrollado un concepto de garantía de calidad. El trabajo comenzó en mayo de 2001 y concluyó en mayo de 2003. El resultado debería constituir la base para una etiqueta como la creada por el BGS e.V.

Otros

Ya existen sistemas internos para garantizar la calidad, como el utilizado por Trienekens AG, cuyo sucesor es RWE Umwelt AG. En la tabla 8.34 se ofrece una perspectiva general de dicho sistema.

Fase del proceso	Medidas	Medidas suplementarias
Origen (productor de residuos, instalación de clasificación, transformación mecánico-biológica)	Recogida de residuos, evitar impurezas, gestiones contractuales sobre calidades permitidas de los residuos, análisis de las declaraciones, documentación sobre las cantidades eliminadas.	Cursos formativos para los productores de residuos, controles periódicos de la empresa productora de residuos realizados por quien los elimina.
Instalación de transformación (entrega)	Toma de muestras y análisis (regulares), muestras de reserva, documentación sobre la entrada y las cantidades procesadas.	Toma de muestras y análisis regulares de los materiales salientes por parte de un experto oficial externo.
Instalación de transformación (salida)	Toma de muestras y análisis (regulares), muestras de reserva, documentación sobre las cantidades entregadas.	
Hornos de cemento y cal, centrales eléctricas	Toma de muestras y análisis (regulares), muestras de reserva, documentación sobre las cantidades de entrada.	

Tabla 8.34: Sistema de garantía de calidad de RWE Umwelt AG [126, Pretz, et al., 2003]

Comparación de los sistemas de garantía de calidad

Las reglas del Bundesgütegemeinschaft für Sekundärbrennstoffe e.V. alemán deberían complementar a los sistemas internos de garantía de calidad. Las normas, de acuerdo con la RAL-GZ 724 complementan a la ISO 9000 y son específicas para los CSR. La norma finlandesa tiene como objetivo la incorporación de sistemas existentes, abriendo la posibilidad de que el productor y el consumidor alcancen acuerdos sobre la calidad de los CSR. El BGS e.V. define en realidad dos clases, mientras que el sistema finés distingue tres clases de calidad distintas. Ya se ha decidido que para las nuevas normas de la UE se ampliarán las clases de calidad. El resultado puede ser un sistema de clasificación como el que aparece en la tabla 8.35, con parámetros adicionales para la tecnología de los combustibles y la ingeniería de procesos.

Parámetro	Unidades	Codificación de las columnas				
		A	B	C	X
PCN	MJ/kg					
H ₂ O	% o.s.					
Cloro	% o.s.					
Ceniza	% o.s.					
Hg	mg/MJ					
Cd	mg/MJ					
Suma de As, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, V	mg/MJ					
Parte biogénica	% o.s.					

Tabla 8.35: Sistema de clasificación [126, Pretz, et al., 2003]

La norma del BGS e.V. requiere documentación sobre el contenido de cloro, mientras que la norma fina define límites para cada clase de calidad.

La norma finlandesa parece aplicarse con menos amplitud en la práctica que la etiqueta de calidad alemana GZ 724. El planteamiento de la norma finlandesa se diferencia bastante de la etiqueta de calidad alemana. El sistema alemán se basa en una amplia base de datos y tiene en cuenta la totalidad de la cadena del proceso. La norma finlandesa regula fracciones de elevado poder calorífico que se derivan de residuos recogidos por separado y define procedimientos y requisitos para el control de la calidad de los CSR.