

# ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

## ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

### ÍNDICE

1.	OBJETO .....	4
2.	SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO .....	4
3.	DINÁMICA LITORAL .....	4
3.1	ESTUDIO DE CAPACIDAD DE TRANSPORTE LITORAL .....	5
3.1.1	METODOLOGÍAS PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	5
3.1.2	CÁLCULO DEL TRANSPORTE MEDIANTE FORMULACIONES .....	6
3.1.3	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA ZONA.....	6
3.2	BALANCE SEDIMENTARIO Y EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA .....	7
3.2.1	EVOLUCIÓN DE LA LINIA DE COSTA .....	7
3.2.2	BALANCE SEDIMENTARIO .....	8
3.3	CLIMA MARÍTIMO .....	8
3.3.1	OLEAJE Y VIENTO .....	8
3.3.2	MAREAS .....	8
3.3.2.1	INFORMACIÓN DE PARTIDA.....	8
3.3.2.2	CARACTERIZACIÓN DE LA MAREA .....	8
3.3.2.2.1	INFORMACIÓN PROCEDENTE DE LA BASE NUMÉRICA GOT-GOS .....	8
3.3.2.2.2	INFORMACIÓN PROCEDENTE DE LOS MAREÓGRAFOS.....	10
3.3.2.2.3	VALORES REPRESENTATIVOS DE LAS MAREAS.....	12
3.4	DINÁMICAS RESULTANTES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO .....	12
3.4.1	EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA DE ESTUDIO .....	12
3.4.2	MEDIDAS DE ADOPCIÓN.....	13
3.4.2.1	MINIMIZACIÓN DE LAS OBRAS.....	13
3.4.2.2	REUTILIZACIÓN DE MATERIALES.....	13
3.4.2.3	COTA DE INUNDACIÓN .....	13
3.5	TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA .....	14
3.6	NATURALEZA GEOLÓGICA DE LOS FONDOS.....	14
3.7	CONDICIONES DE LA BIOSFERA SUBMARINA .....	15
3.7.1	COMUNIDADES MARINAS .....	15
3.7.2	ESPACIOS NATURALES Y HÁBITAT PROTEGIDOS.....	17
3.7.2.1	CAP ENDERROCAT I CAP BLANC (LIC ES5310128) .....	17
3.7.2.2	CAP ENDERROCAT I CAP BLANC (ZEPA ES0000081) .....	18
3.7.2.3	HÁBITAT 1240: ACANTILADOS CON VEGETACIÓN DE LAS COSTAS MEDITERRÁNEAS	19

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

3.8	RECURSOS DISPONIBLES DE ÁRIDOS Y CANTERAS Y SU IDONEIDAD, PREVISIÓN DE DRAGADOS .....	20
3.8.1	ÁRIDOS Y CANTERAS .....	20
3.8.2	DRAGADOS Y TRASVASE DE ARENAS.....	20
3.9	PLAN DE SEGUIMIENTO DE LAS ACTUACIONES PREVISTAS .....	20
3.9.1	RESPONSABILIDAD DEL SEGUIMIENTO .....	20
3.9.2	METODOLOGÍA DEL SEGUIMIENTO .....	21
3.9.2.1	MEDIDAS PREVENTIVAS PREVIO AL INICIO DE LA OBRA .....	21
3.9.2.2	CONTROL DE LAS TAREAS DE OBRA .....	21
3.9.3	INFORMES .....	22
3.10	PROPUESTA PARA LA MINIMIZACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LAS OBRAS Y POSIBLES MEDIDAS CORRECTORAS Y COMPENSATORIAS.....	22
3.10.1	AFECCIONES PREVISTAS.....	22
3.10.1.1	ANÁLISIS DE AFECCIONES .....	22
3.10.2	MEDIDAS PREVENTIVAS .....	23
	ANEXO I. CLIMA MARÍTIMO .....	24

## ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Fondo marino en la zona de estudio (Fuente: IDEIB).	6
<b>Figura 2.-</b> Fotografías aéreas de la costa junto a la zona de estudio den 1956, 2002, 2010 y 2020 (Fuente: IDEIB)	7
<b>Figura 3.-</b> Régimen medio (izquierda) y extremal (derecha) de la marea astronómica (MA) (Fuente: IHCantabria)	9
<b>Figura 4.-</b> Régimen medio (izquierda) y extremal (derecha) de la marea o residuo meteorológico (MM) (Fuente: IHCantabria)	9
<b>Figura 5.-</b> Régimen medio (izquierda) y extremal (derecha) del Nivel del Mar (NM) o marea total (Fuente: IHCantabria)	10
<b>Figura 6.-</b> Régimen medio de la marea astronómica (MA) en los mareógrafos de Palma y de Maó (Fuente: PPEE)	10
<b>Figura 7.-</b> Régimen medio de residuo meteorológico (RM) en los mareógrafos de Palma y de Maó (Fuente: PPEE)	11
<b>Figura 8.-</b> Régimen medio del nivel del mar (NM) o marea total en los mareógrafos de Palma y de Maó (Fuente: PPEE)	11
<b>Figura 9.-</b> Planta del levantamiento topográfico en la zona.	14
<b>Figura 10.-</b> Geología de la zona objeto de estudio (Fuente: ITGE. Mapa Geológico de España serie MAGNA, hoja 618 I-II)	15
<b>Figura 11.-</b> Hábitats marinos existentes en la zona de actuación (Fuente: IDEIB)	16
<b>Figura 12.-</b> Cartografía provisional de Posidonia oceanica (Fuente: IDEIB)	16
<b>Figura 13.-</b> Hábitats de les Illes Balears 2005 (Fuente: IDEIB)	17
<b>Figura 14.-</b> Área Cap Enderocat y Cap Blanc.	18
<b>Figura 15.-</b> Emplazamiento del nodo SIMAR.	25
<b>Figura 16.-</b> Emplazamiento del nodo MARUCA.	25
<b>Figura 17.-</b> Rosa de oleaje. Nodo SIMAR 2116114.	26
<b>Figura 18.-</b> Régimen medio escalar. Nodo SIMAR 2116114.	28
<b>Figura 19.-</b> Funciones de distribución medias direccionales de Hs. Nodo SIMAR 2116114.	29
<b>Figura 20.-</b> Duraciones medias y máximas de las persistencias para diferentes niveles de Hs. Nodo SIMAR 2116114.	29
<b>Figura 21.-</b> Distribución conjunta Hs-Tp de los temporales en el nodo SIMAR 2116114.	31
<b>Figura 22.-</b> Funciones de distribución extremas direccionales de Hs. Nodo 14.	32
<b>Figura 23.-</b> Rosa de vientos (Fuente: PPEE).	33
<b>Figura 24.-</b> Función de distribución Weibull anual.	35
<b>Figura 25.-</b> Duraciones medias y máximas de las persistencias para diferentes niveles de V <sub>v</sub> .	36

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.-</b> Tabla de encuentros Hs - dirección. Nodo SIMAR 2116114.	27
<b>Tabla 2.-</b> Parámetros de los ajustes a funciones Weibull. Nodo SIMAR 2116114.	28
<b>Tabla 3.-</b> Características de los temporales. Nodo SIMAR 2116114.	30
<b>Tabla 4.-</b> Parámetros de los ajustes a funciones GEV. Nodo 6.	31
<b>Tabla 5.-</b> Tabla de encuentros V <sub>v</sub> – dirección (Fuente: PPEE).	34
<b>Tabla 6.</b> Parámetros ajuste direccional regimenes medios de viento.	35

## ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

### 1. OBJETO

El objeto del presente documento es realizar una valoración del impacto en la dinámica litoral de las playas cercanas o afectadas por las obras.

Para la realización de los trabajos, PROJECT SOLVERS ASESORES S.L. cuenta con la ayuda de TANDEM Ecoserveis i Geotecnia S.L. especialista en estudios de impacto ambiental y estudios geotécnicos.

### 2. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

El hotel Cap Rocat se ubica en la zona del Cap Enderrocat, situado en la costa de levante de la bahía de Palma, en la zona de urbanizaciones del término municipal de Llucmajor, en concreto se encuentra entre las urbanizaciones de Cala Blava-Bellavista y Maioris-Puigdenrros.

Se accede al mismo desde la salida a la urbanización Cala Blava, de la carretera Ma-6014 Circuit Estratègic, tramo urbanizaciones litoral Bahía de Palma, del término municipal de Llucmajor, continuando por el vial C/D'Enderrocat, hasta su final.

La parcela lindante con las ocupaciones a desarrollar tiene como referencia catastral la 07031A00200001000RJ.

El sector en que se ubica la actuación se localiza entre los hitos del deslinde de la ZDPMT del término municipal de Llucmajor, siguientes:

HITO DPMT 994 e HITO DPMT 996

### 3. DINÁMICA LITORAL

De acuerdo con el artículo 93 del Reglamento General de Costas, aprobado por Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, el Estudio básico de Dinámica Litoral debe comprender los siguientes aspectos:

- a) Estudio de la capacidad de transporte litoral.
- b) Balance sedimentario y evolución de la línea de costa, tanto anterior como previsible.
- c) Clima marítimo, incluyendo estadísticas de oleaje y temporales direccionales y escalares.
- d) Dinámicas resultantes de los efectos del cambio climático
- e) Batimetría hasta zonas del fondo que no resulten modificadas, Naturaleza geológica de los fondos y Condiciones de la biosfera submarina y efectos sobre la misma de las actuaciones previstas en la forma que señala el artículo 88 e) de este reglamento (es decir, la determinación de la posible afección a espacios de la Red Natura 2000 o cualesquiera otros dotados de figuras de protección ambiental).
- f) Naturaleza geológica de los fondos
- g) Condiciones de la biosfera submarina y efectos sobre la misma de las actuaciones previstas en la forma que señala el artículo 88e) del reglamento.
- h) Recursos disponibles de áridos y canteras y su idoneidad, previsión de dragados o trasvases de arenas.
- i) Plan de seguimiento de las actuaciones previstas.

## ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

- j) Propuesta para la minimización de la incidencia de las obras y medidas correctoras y compensatorias.

### 3.1 ESTUDIO DE CAPACIDAD DE TRANSPORTE LITORAL

#### 3.1.1 METODOLOGÍAS PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

La obtención de la tasa del transporte de sedimentos en dirección longitudinal a la costa como consecuencia de las corrientes inducidas por la rotura del oleaje es fundamental para el correcto conocimiento de la dinámica litoral del tramo de costa que se está considerando en el presente estudio. Para obtener la capacidad de transporte del oleaje, existen los siguientes procedimientos de cálculo:

- La medida directa, "in situ".
- La cubicación de volúmenes retenidos por obras (diques, espigones) situados en los alrededores.
- La determinación de erosiones y acumulaciones en la línea de costa mediante fotografías aéreas a lo largo del tiempo.
- Ensayos a escala reducida.
- Empleo de formulaciones analíticas.
- Estudio mediante modelos matemáticos.

El primer método, el de medida directa, no se utiliza debido al elevado coste que supone llevarlo a cabo y el excesivo plazo de tiempo que es necesario invertir.

La cubicación de volúmenes retenidos por las obras de defensa es un método de gran utilidad y muy utilizado a pesar de que no siempre es posible aplicarlo debido a la inexistencia de obstáculos naturales suficientemente próximos a la zona de estudio o por no disponer de levantamientos topográficos y batimétricos con suficiente precisión para analizar su evolución temporal.

La cuantificación del transporte sólido a partir de las variaciones producidas en la línea de costa debido a las erosiones y acumulaciones del material de las playas mediante restituciones fotogramétricas de fotografías aéreas es un método que resulta aceptable en muchos casos debido a la simplicidad del proceso y a los resultados bastante aceptables. No obstante el método presenta diversos inconvenientes. Por un lado, las restituciones fotogramétricas se realizan sin tener en cuenta ni los efectos de las mareas astronómica y meteorológica, ni el oleaje, ni la época en la que se realizó la fotografía, por lo tanto, no se tiene en cuenta las diferencias en la línea de orilla debidas al cambio de estación. Por otro lado, dichas restituciones no tienen información acerca del fondo marino ni acerca de las batimétricas, además de introducir los errores propios de la restitución fotogramétrica, que pueden cifrarse en variaciones de la línea de costa de  $\pm 3$  m o incluso mucho más.

Los ensayos a escala reducida en piscinas de oleaje presentan el inconveniente de que resultan muy costosos y además se debe tener especial cuidado con el mantenimiento de una correcta similitud de las escalas de ensayo, sin embargo son muy útiles para establecer cálculos en cuanto a estabildades.

El empleo de formulaciones analíticas es probablemente el método más empleado por su sencillez y rápida implementación. Además existen numerosas formulaciones que pueden ser empleadas con objeto de obtener un cierto rango de variabilidad.

## ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

### 3.1.2 CÁLCULO DEL TRANSPORTE MEDIANTE FORMULACIONES

El transporte longitudinal potencial de sedimentos puede expresarse en términos del volumen total de sedimento transportado, esto es, incluyendo los huecos entre partículas ( $Q_l$ ) o en términos del peso sumergido de sedimento transportado ( $l_l$ ), que se relacionan mediante la siguiente expresión:

$$l_l = (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot (1 - n) \cdot Q_l \quad [\text{N/s}]$$

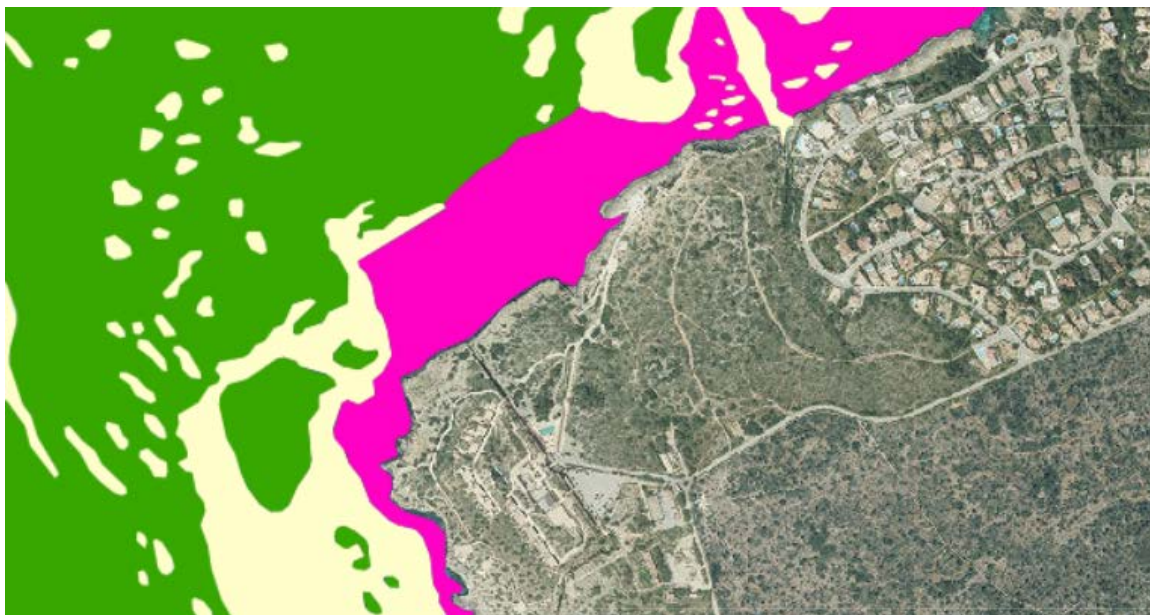
donde

- $\rho_s$  es la densidad del sedimento (habitualmente  $2.650 \text{ kg/m}^3$ )
- $\rho$  es la densidad del agua (habitualmente  $1.025 \text{ kg/m}^3$ )
- $n$  es la porosidad del sedimento (habitualmente  $n = 40 \%$ )

Se habla de transporte potencial (o capacidad de transporte), ya que para producirse debe haber suficiente sedimento en el tramo de costa analizado y los eventuales obstáculos existentes en la costa (espigones, diques, cañones submarinos...) no deben poder ralentizar o detener dicho flujo sedimentario.

### 3.1.3 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA ZONA

En la siguiente figura sacada del visor del IDEIB se puede observar el fondo marino en la zona de estudio. La zona de color fucsia indica fondo rocoso, que en algunos casos se encuentran cubiertos por Posidonia Oceánica. Igualmente, la línea de orilla en la zona de estudio es rocosa, con acantilados medios y bajos.



**Figura 1.- Fondo marino en la zona de estudio (Fuente: IDEIB).**

Consecuentemente, no existe ninguna playa con sedimento alrededor de la zona de estudio. La totalidad de la línea de orilla es rocosa y los fondos submarinos son predominantemente rocosos. En tales condiciones, no existen formulaciones para el cálculo del transporte de sedimentos.



### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

En estas condiciones no puede darse transporte de sedimentos debido a que los fondos marinos son predominantemente rocosos.

Finalmente, cabe destacar que las actuaciones previstas en el proyecto son todas en superficie y a cotas bastante superiores y lejanas al nivel del mar, así que ninguna de ellas es ninguna actuación en agua.

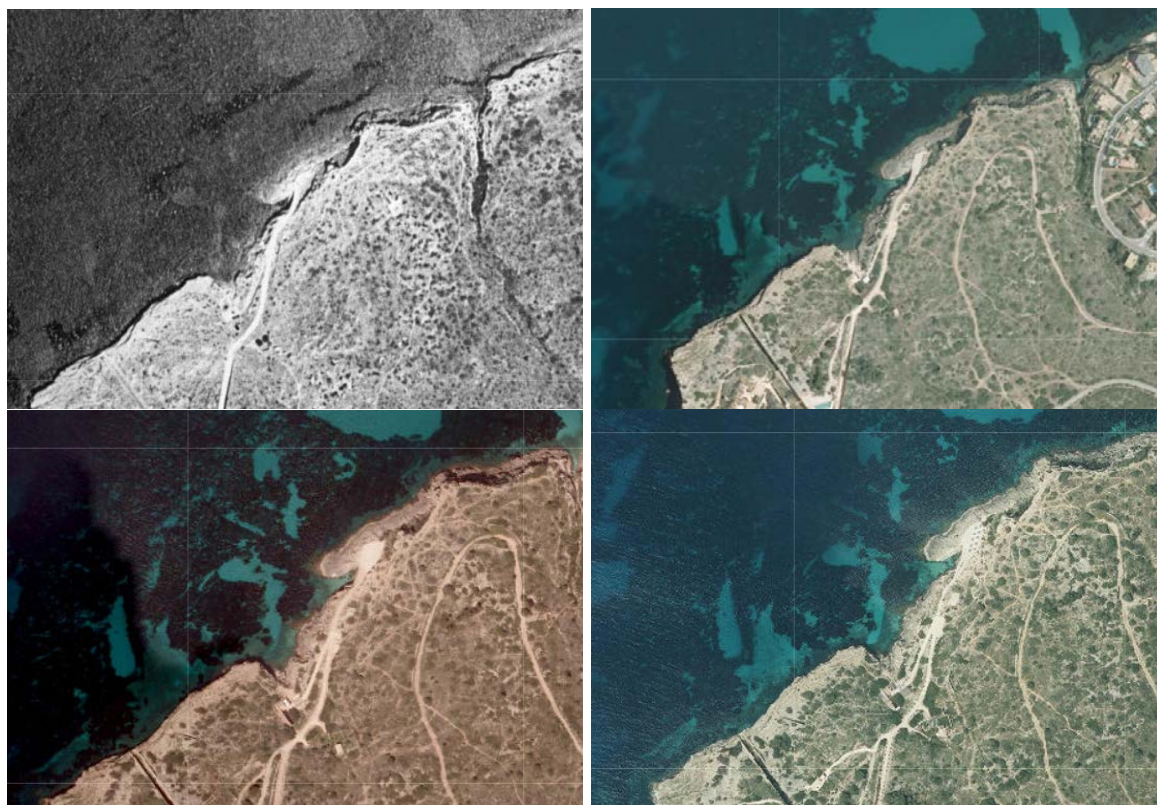
Por todo ello, dado la morfología de la zona y que las actuaciones a llevar a cabo, no se prevé ningún tipo de modificación de la dinámica litoral actual en cuanto a la capacidad de transporte.

## 3.2 BALANCE SEDIMENTARIO Y EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

### 3.2.1 EVOLUCIÓN DE LA LINIA DE COSTA

Tal y como se muestra en las siguientes imágenes, debido su entorno costero, la evolución temporal en los últimos años ha sido prácticamente inexistente, a lo contrario que sucede con las líneas de costas ubicadas en playas de arena.

En la siguiente figura se muestran fotografías aéreas de la costa cercana a la zona de estudio de los años 1956, 2002, 2010 y 2020. Puede apreciarse que efectivamente la línea de costa se ha mantenido fija.



**Figura 2.-** Fotografías aéreas de la costa junto a la zona de estudio den 1956, 2002, 2010 y 2020 (Fuente: IDEIB)



## ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

Consecuentemente, se prevé que en el futuro la línea de costa también permanezca inmóvil.

### 3.2.2 BALANCE SEDIMENTARIO

Como ya se ha comentado anteriormente, el fondo marino en la zona de estudio es prácticamente en su totalidad fondo rocoso, que en algunos casos se encuentran cubiertos por Posidonia Oceánica. Igualmente, la línea de orilla en la zona de estudio es rocosa, con acantilados medios y bajos. Es por ello, que no existe ninguna playa con sedimento alrededor de la zona de estudio.

Además, las actuaciones previstas en el proyecto son todas en superficie y a cotas bastante superiores y lejanas al nivel del mar, así que ninguna de ellas es ninguna actuación en agua.

Por todo ello, dado la morfología de la zona y que las actuaciones a llevar a cabo, no se prevé ningún tipo de modificación de la dinámica litoral actual en cuanto al balance sedimentario.

## 3.3 CLIMA MARÍTIMO

### 3.3.1 OLEAJE Y VIENTO

Se adjunta como Anexo I al presente documento un completo estudio de clima marítimo en cuanto al oleaje y el viento.

### 3.3.2 MAREAS

#### 3.3.2.1 INFORMACIÓN DE PARTIDA

La información empleada para la caracterización de la marea ha sido obtenida de:

- La base de datos numéricos de marea astronómica y meteorológica GOT y GOS desarrollada por el Instituto de Hidráulica Ambiental IH Cantabria y que abarca el período 1948 – 2008.
- Mareógrafos de Palma de Mallorca y de Maó, pertenecientes

#### 3.3.2.2 CARACTERIZACIÓN DE LA MAREA

##### 3.3.2.2.1 INFORMACIÓN PROCEDENTE DE LA BASE NUMÉRICA GOT-GOS

A partir de la base de datos numéricos de marea astronómica y meteorológica GOT y GOS desarrollada por el Instituto de Hidráulica Ambiental IH Cantabria y que abarca el período 1948 - 2008 se han obtenido las funciones de distribución media y extremal de la marea astronómica, meteorológica y total que se muestran en las siguientes figuras y que relacionan dichos niveles de marea con la probabilidad media anual de excedencia y con el período de retorno asociado respectivamente. Las funciones de distribución extremas se refiere solamente al nivel alto o pleamar.

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

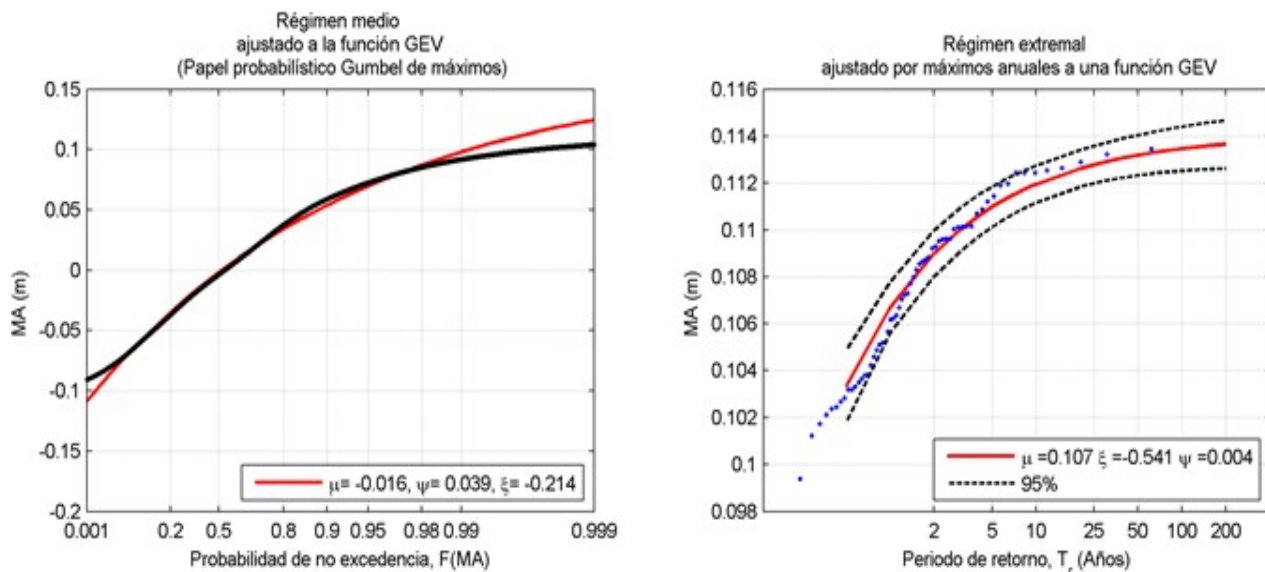


Figura 3.- Régimen medio (izquierda) y extremal (derecha) de la marea astronómica (MA) (Fuente: IHCantabria)

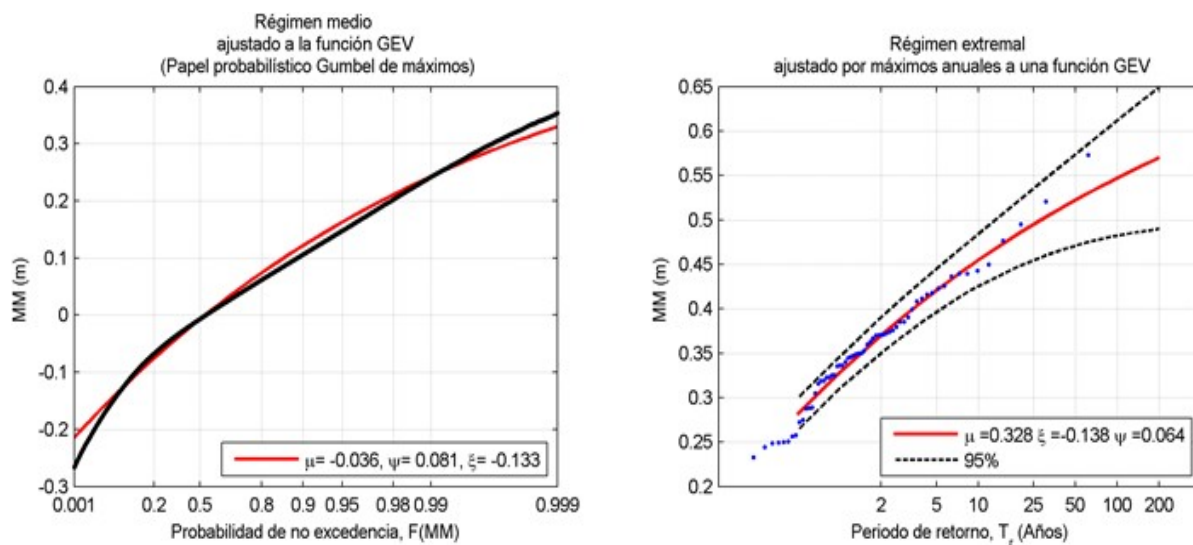


Figura 4.- Régimen medio (izquierda) y extremal (derecha) de la marea o residuo meteorológico (MM) (Fuente: IHCantabria)

## ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

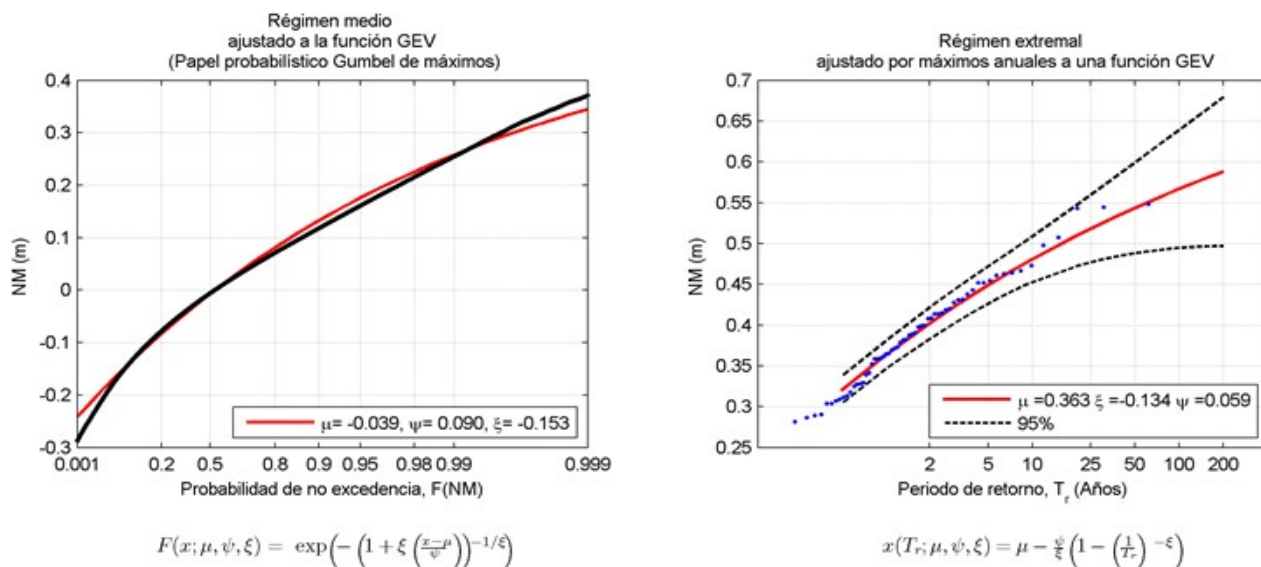


Figura 5.- Régimen medio (izquierda) y extremal (derecha) del Nivel del Mar (NM) o marea total (Fuente: IHCantabria)

El nivel de referencia de todas las funciones de distribución es el Nivel Medio del Mar en Mallorca (NMMM). Así puede apreciarse que los niveles de mar asociados a una probabilidad de excedencia del 50% ( $F = 0,50$ ) en los regímenes medios de la marea astronómica y de la marea total son  $MA = NM = 0,00$  m, lo cual es coherente con el nivel de referencia considerado en dichas bases de datos.

### 3.3.2.2 INFORMACIÓN PROCEDENTE DE LOS MAREÓGRAFOS

A partir de la información de los mareógrafos de Palma y de Maó pertenecientes a la Red de Puertos del Estado (PPEE) se han obtenido la función de distribución de la marea astronómica (MA), de la marea o residuo meteorológico (RM) y del nivel del mar (NM) o marea total en el periodo 2009-17 que se muestra en las siguientes figuras. La información de dichas funciones están referidas al cero del IGN (Instituto Geográfico Nacional), que es el empleado para efectuar los levantamientos topográficos en las islas de Mallorca y Menorca y que teóricamente coinciden con los niveles medios del mar en ambas islas.

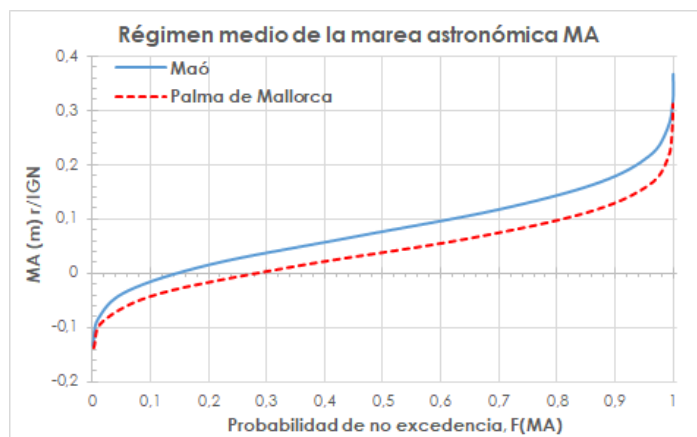
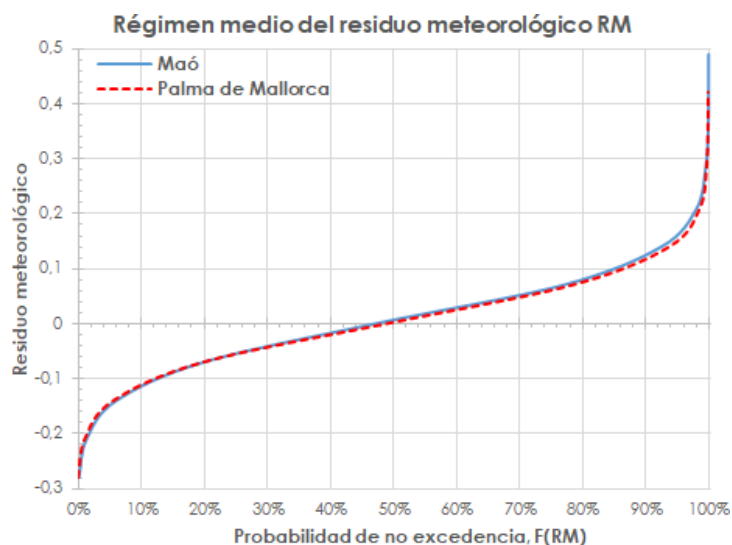
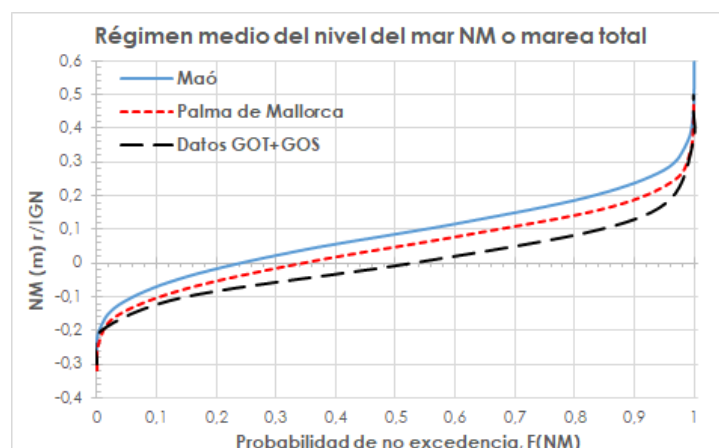


Figura 6.- Régimen medio de la marea astronómica (MA) en los mareógrafos de Palma y de Maó (Fuente: PPEE)

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL



**Figura 7.-** Régimen medio de residuo meteorológico (RM) en los mareógrafos de Palma y de Maó (Fuente: PPEE)



**Figura 8.-** Régimen medio del nivel del mar (NM) o marea total en los mareógrafos de Palma y de Maó (Fuente: PPEE)

Puede apreciarse que:

- Los residuos meteorológicos son prácticamente los mismos en ambos mareógrafos.
- Las diferencias entre las mareas astronómicas son escasas, del orden de 5 cm, y fundamentalmente son debidas a que los ceros de referencia son diferentes. En teoría, tal como se dijo, ambos mareógrafos están referidos al cero del IGN que debería coincidir con el nivel medio del mar, lo que significaría que para un valor de excedencia del 50 % ( $F = 0,5$ ) el nivel debería ser el nivel medio, es decir, se debería tener  $\eta = 0$  m. Sin embargo para una valor  $F = 0,50$  el nivel del mar resulta ser  $\eta = +0,045$  m en el mareógrafo del Palma y  $\eta = +0,085$  m en el mareógrafo del Maó. Por consiguiente el 0 del IGN y el NMM en Mallorca y en Menorca no coinciden exactamente, existiendo entre ellos una diferencia de 0,045 m y 0,085 m respectivamente, tal como puede apreciarse en última figura en la que

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

también se ha añadido el régimen medio del nivel del mar obtenido de la base de datos GOT/GOS.

Por consiguiente, a los valores obtenidos de las funciones de distribución media y extremal de las figuras incluidas en el apartado de "Información procedente de la base numérica GOT – GOS" se les ha de añadir la cantidad de 0,085 m para referirlos al 0 del IGN, que es el cero de referencia que se empleará en el proyecto.

#### 3.3.2.2.3 VALORES REPRESENTATIVOS DE LAS MAREAS

A partir del régimen medio y del régimen extremal (modificado por el valor de +0,085 m) se obtienen los siguientes valores representativos del nivel del mar en Mahón, que se adopta para Fornells:

Marea asociada a una excedencia media del 50%	Plenamar:	+0,166 m r/IGN
	Bajamar:	+0,005 m r/IGN
Marea asociada a una excedencia media del 85%	Plenamar:	+0,256 m r/IGN
	Bajamar:	-0,088 m r/IGN
Marea asociada a un período de retorno $T_r = 1$ mes	Plenamar:	+0,275 m r/IGN
	Bajamar <sup>(1)</sup> :	-0,105 m r/IGN
Marea asociada a un período de retorno $T_r = 1$ año	Plenamar:	+0,445 m r/IGN
	Bajamar <sup>(1)</sup> :	-0,275 m r/IGN
Marea asociada a un período de retorno $T_r = 5$ años	Plenamar:	+0,535 m r/IGN
	Bajamar <sup>(1)</sup> :	-0,365 m r/IGN
Marea asociada a un período de retorno $T_r = 238$ años	Plenamar:	+0,675 m r/IGN
	Bajamar <sup>(1)</sup> :	-0,505 m r/IGN

<sup>(1)</sup>: A falta de información extremal específica sobre las bajamares se ha considerado que su valor será simétrico al de la pleamar respecto al nivel medio del mar  $NMM = +0,085$  m r/IGN

## 3.4 DINÁMICAS RESULTANTES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

### 3.4.1 EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA DE ESTUDIO

Los parámetros que más efectos van a tener sobre las obras serán la variación del nivel del mar y la dinámica costera.

La modificación del clima marítimo en la zona se traduce fundamentalmente en tres efectos:

- Variación de la cota de inundación ( $\Delta CI$ ).
- Retroceso de la playa como consecuencia del incremento del nivel del mar ( $RE_{1,max}$ ).
- Retroceso de la playa como consecuencia del giro del flujo medio de energía del oleaje ( $RE_{2,max}$ ).

Dado que en las inmediaciones del puerto no existen playas, los dos últimos aspectos no van a ser considerados.

La variación de la cota de inundación ( $\Delta CI$ ) puede obtenerse mediante la expresión:



### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

$$\Delta CI = \Delta MM + \Delta \eta$$

Siendo:

- $\Delta CI$  la variación de cota de inundación
- $\Delta MM$  la variación de la marea meteorológica ( $\Delta MM = -8,75$  cm)
- $\Delta \eta$  la variación del nivel medio del mar ( $\Delta \eta = 27,05$  cm)

Con todo ello se obtiene un incremento en la cota de inundación de 18,30 cm.

#### 3.4.2 MEDIDAS DE ADOPCIÓN

##### 3.4.2.1 MINIMIZACIÓN DE LAS OBRAS

Las obras del presente proyecto se centran en la conservación de las estructuras existentes en buen estado y el acondicionamiento de las estructuras en peor estado. Así pues, se pretende realizar el acondicionamiento de los tramos de coronación de los paños de muro existentes 1 y 2 con mampostería concertada de piedra natural, similar a la existente. También se pretende realizar el acondicionamiento el paño de muro 3 preexistente, con mampostería concertada de piedra natural, similar a la de los muros 1 y 2. Otras actuaciones de acondicionamiento serán la ejecución de una franja peatonal de acceso a zona de baño desde plataforma de solárium autorizado (itinerario nº 2) y la ejecución de plataforma de solárium de 6.00x6.00 m.

Otras actuaciones incluidas serán la instalación de una plataforma desmontable, la instalación de polipasto eléctrico desmontable para izada y botadura de embarcaciones de porte ligero y la instalación de elementos de amarre.

##### 3.4.2.2 REUTILIZACIÓN DE MATERIALES

Se propone la reutilización de los materiales dentro de la propia obra. Es por ello por lo que se aprovecharán los materiales de las excavaciones para los rellenos previstos en la misma obra, siempre que sea posible.

##### 3.4.2.3 COTA DE INUNDACIÓN

La información sobre la cota de inundación permanente como consecuencia de la subida del nivel medio del mar es importante para el diseño de obras de infraestructura a construir en el litoral. De este modo, se busca minimizar el riesgo por inundación, rebase o interferencias sobre elementos del proyecto o plan por incremento del nivel mar debido al cambio climático.

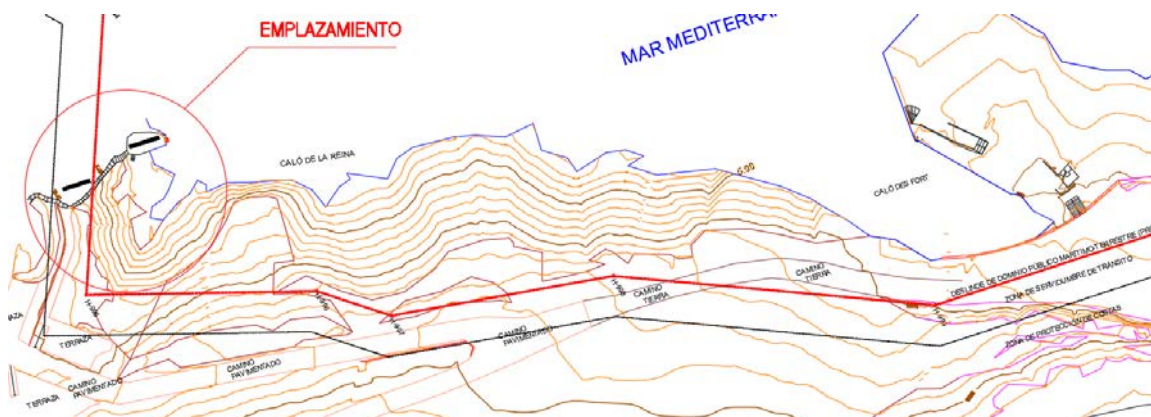
El ascenso del nivel del mar amplifica el efecto de los temporales, este hecho representa uno de los principales problemas del efecto del Cambio Climático en la costa.

En nuestro caso, dado que las actuaciones se llevan a cabo todas en superficie y a cotas bastante superiores y lejanas al nivel del mar, el posible incremento del nivel del mar en 18,30 cm no tendrá ningún tipo de incidencia, quedando incluso fuera del rango de mareas, es decir, que incluso teniendo en cuenta la subida de la marea i pleamar no se llegaría a ninguna zona de actuación en Es Caló des Fort.

## ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

### 3.5 TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA

A continuación, se adjunta una planta del levantamiento topográfico, que puede verse también con mayor detalle en los planos del presente proyecto.



**Figura 9.-** Planta del levantamiento topográfico en la zona.

### 3.6 NATURALEZA GEOLÓGICA DE LOS FONDOS

La costa sur de Mallorca es una gran meseta calcárea, rocosa, que limita con el mar mediante acantilados rectilíneos y abruptos. Se trata de la gran plataforma Vindoboniense, de materiales calizos y margosos, depositados durante el Terciario y que no han estado sometidos a las violentas orogénesis de la serra de Tramuntana y de las serras de Llevant. Hace algunos millones de años estas tierras eran bajos fondos de un mar situado entre dos islas que ahora conforman las mencionadas sierras mallorquinas, donde medraban arrecifes coralinos. Restos fósiles de estos corales se encuentran en el borde occidental de cala Pi. Los suelos de esta plataforma, en el término municipal de Llucmajor, son, por regla general, arcillas rojas de escasa potencia. A menudo están limitadas por duras costras calizas. Algunos edafólogos consideran fundamental en su génesis la frecuente deposición de polvo africano por lluvias otoñales de la isla. Este terreno llano y rocoso permite la constitución de pequeñas cuencas endorréicas que generan charcas de poca extensión ya que no superan unos pocos metros cuadrados, de carácter temporal, que se secan en verano y se vuelven a llenar con las lluvias de otoño y primavera.

Como se observa en la siguiente imagen, el substrato competente está formado por estratos de dolomías y calizas de probable edad Jurásico. Sobre éstos se sitúan materiales de edad Terciario (margas y calizas) y Cuaternario (eolianitas "marés").

## ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

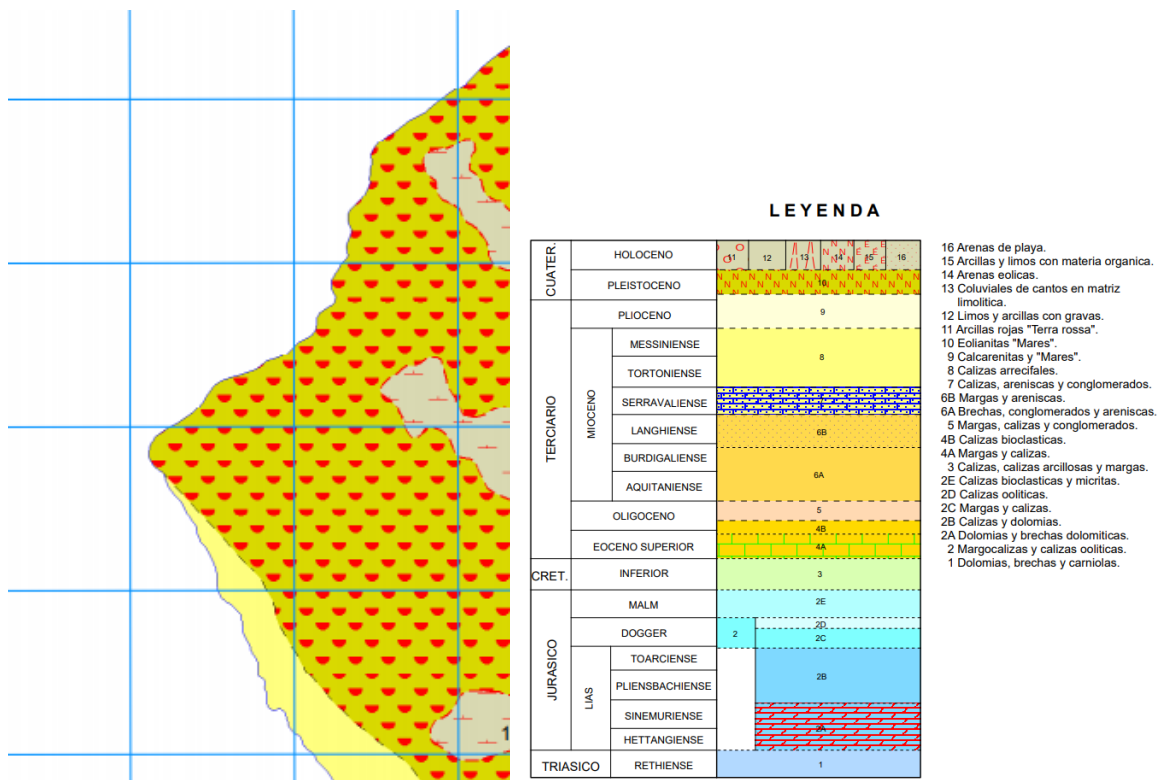


Figura 10.- Geología de la zona objeto de estudio (Fuente: ITGE. Mapa Geológico de España serie MAGNA, hoja 618 I-II)

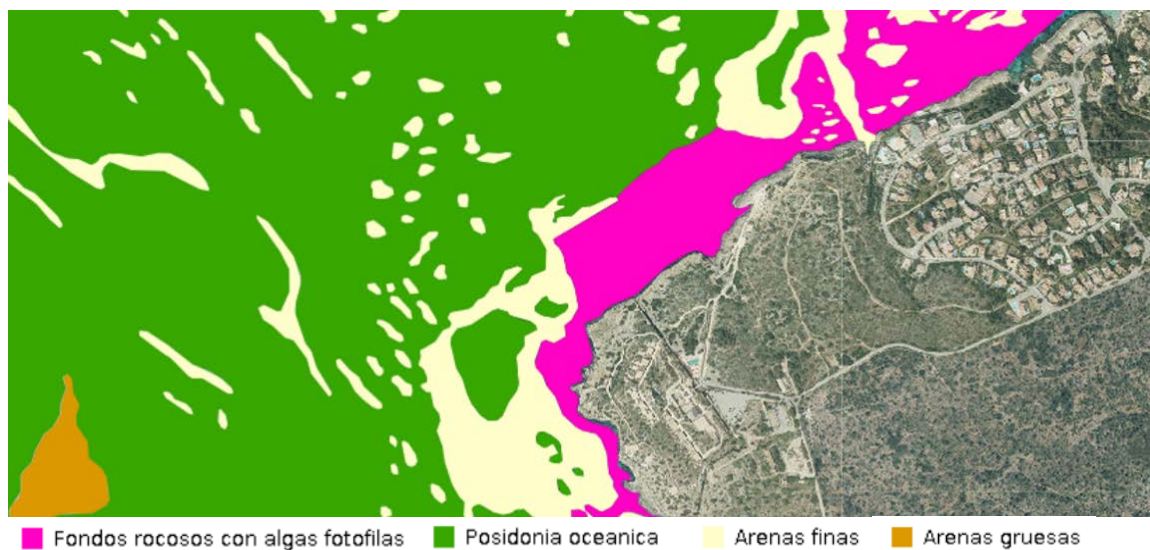
### 3.7 CONDICIONES DE LA BIOSFERA SUBMARINA

#### 3.7.1 COMUNIDADES MARINAS

Para conocer las comunidades marinas existentes se ha consultado la cartografía de hábitats disponible en la página web de la Dirección General de Biodiversidad del Govern Balear 'Xarxa Natura a les Balears', el visualizador IDEIB y el visor del Banco de Datos de la Naturaleza (BDN).

La cartografía de hábitats marinos (año 2019), la cartografía provisional de Posidonia oceánica y la cartografía de hábitats (2005) disponibles en el visor IDEIB se muestran en las figuras siguientes.

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL



**Figura 11.-** Hábitats marinos existentes en la zona de actuación (Fuente: IDEIB).



**Figura 12.-** Cartografía provisional de Posidonia oceanica (Fuente: IDEIB).



## ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL



**Figura 13.-** Hábitats de les Illes Balears 2005 (Fuente: IDEIB).

Tanto las obras a ejecutar como las instalaciones temporales se ubican en zona terrestre, por lo que no cabe esperar afecciones a ningún hábitat marino. Además, la pradera de posidonia más cercana a la zona se ubica a más de 15 m de distancia de la costa.

### 3.7.2 ESPACIOS NATURALES Y HÁBITAT PROTEGIDOS

La superficie ocupada por las obras a ejecutar y por las instalaciones temporales se ubica dentro de los espacios naturales de la Red Natura 2000 de gestión autonómica LIC ES5310128 Cap Enderrocat i Cap Blanc y a la ZEPA ES0000081 Cap Enderrocat – Cap Blanc.

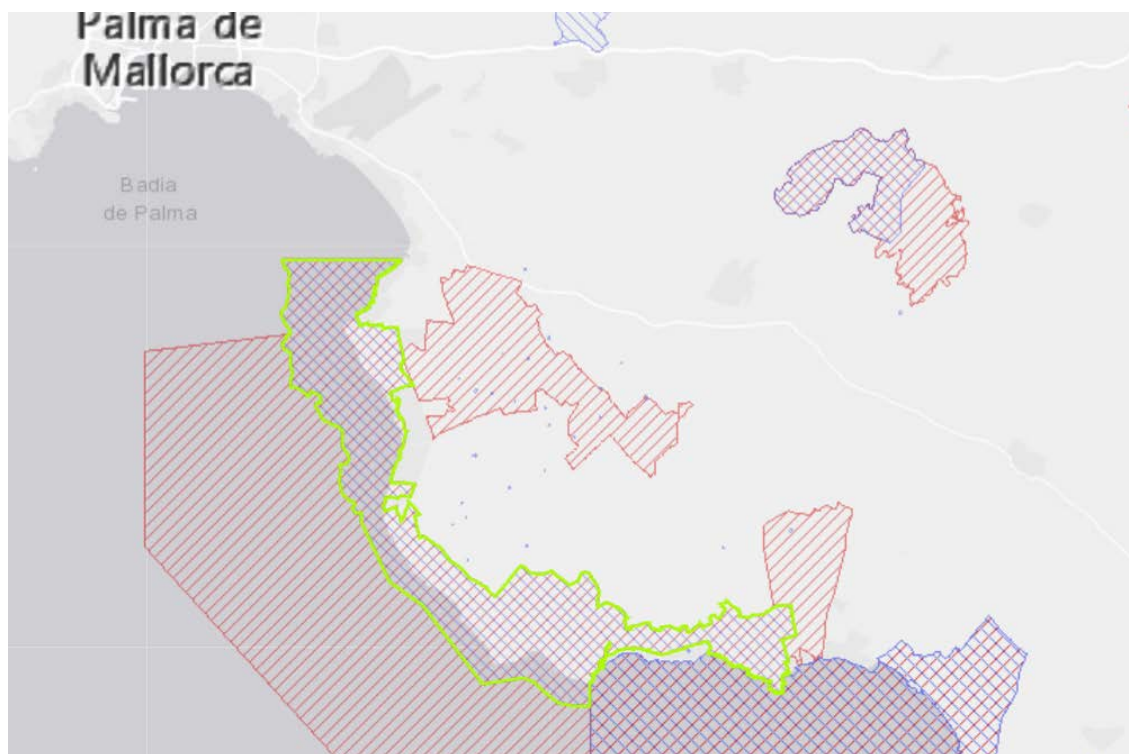
A continuación se describen los espacios de la Red Natura 2000 en los que se ubica el Proyecto, que podrían verse afectados por el mismo. Esta información ha sido extraída del formulario oficial de la Base de Datos Inventario de la Red Natura 2000.

#### 3.7.2.1 CAP ENDERROCAT I CAP BLANC (LIC ES5310128)

Este lugar forma parte del clima mediterráneo mesotérmico semiárido, con una temperatura media anual de 17°C y una pluviosidad media de 450 mm. Por lo tanto se trata de una de las zonas más templadas y secas de Mallorca y con una mayor insolación, tan solo superadas por el cono sur de Mallorca, aún más cálido y seco. El terreno llano y rocoso existente permite la constitución de pequeñas cuencas endorréicas que generan charcas de poca extensión ya que no superan unos pocos metros cuadrados, de carácter temporal, que se secan en verano y se vuelven a llenar con las lluvias de otoño y primavera. Estas charcas son de gran interés para la fauna y flora, destacando la presencia de invertebrados, como *Triops cancriformis*, del anfibio *Bufo viridis balearica* y del helecho acuático endémico *Marsilea strigosa*. El paisaje vegetal de este lugar es un mosaico abigarrado de cultivos de secano, con una mezcla de cereal y almendro, principalmente, matorrales mediterráneos y algunos pinares. Aquí se encuentra el climax del acebuchar, que aún mantiene algunas formaciones de porte casi arbóreo pese al aprovechamiento de que ha sido objeto dado la calidad de su madera y a la presión de la ganadería y de la agricultura en combinación con el ancestral uso del fuego. Esta combinación de factores ha degradado la vegetación original dando lugar a una garriga más o menos rara.



## ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL



**Figura 14.-** Área Cap Enderrocat y Cap Blanc.

La calidad e importancia de este lugar se basa en la presencia de 13 hábitats que figuran en el Anexo I de la Directiva 92/43/CEE y en la presencia de dos especies de plantas incluidas en el Anexo II de dicha directiva. También es de resaltar la presencia de diversas especies del Anexo I de la Directiva 79/409/CEE, entre las que destacan, por su abundancia durante todo el año, *Burhinus oedicephalus*, *Sylvia sarda balearica*, *Galerida theklae*, una importante colonia reproductora de *Phalacrocorax aristotelis desmarestii* y entre 4 y 5 parejas de *Falco peregrinus*. Además de la presencia de otras muchas especies de aves que no figuran en dicho anexo. Por dichos motivos el lugar fue declarado Zona de Especial Protección Para las Aves (ZEPA nº 81) y también fue clasificado como Área Importante para las Aves (IBA nº 322) por la Sociedad Española de Ornitología, aplicando los criterios establecidos por BirdLife Internacional. Además en el lugar hay que señalar la presencia de un anfibio endémico (*Bufo viridis balearica*), este último con diversos puntos de agua donde se reproduce habitualmente y la abundante presencia de *Testudo hermanni*, especie incluida en el Anexo II de la Directiva 92/43/CEE. Otra especie de reptil incluido en este Anexo que frecuenta las aguas del lugar es *Caretta caretta*. Con motivo D se han incluido diversas especies presentes en el lugar que tienen importancia en el funcionamiento de la biocenosis, destacando la abundante presencia de *Aetechinus algerius* y *Genetta genetta*. Con respecto a la zona marina, se mencionan seis especies de peces que se consideran interesantes por las poblaciones que mantienen en dicha zona.

### 3.7.2.2 CAP ENDERROCAT I CAP BLANC (ZEPA ES0000081)

Este lugar, además de coincidir con el LIC ES5310128 anteriormente descrito, incluye también un mosaico de parcelas de cultivo de secano y parcelas de pinar y garriga maquia "marina" cuya extensión es de aproximadamente 4.493,36 Ha. Los hábitats incluidos según la cartografía oficial son: Hypochoerido-Brachypodietum retusi

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

(6220)Cneoro tricocci-Ceratonietum siliquae (5330/9320/9540)Anthyllido cytisoidis-Teucrietum majorici (5330).

Engloba una ZEPA (ES0000081) y LIC (ES5310128) ya existentes denominados Cap Enderrocat - Cap Blanc. Se proponen dos zonas A y B que amplían la extensión de la ZEPA existente. El águila de Bonelli (*Aquila fasciata*) recorre con frecuencia la zona en búsqueda de alimento, sobretodo conejos y perdices, que encuentra aquí con facilidad. Cabe la posibilidad del asentamiento futuro de alguna pareja debido a las características de diversidad de hábitats. La zona de la marina de Llucmajor es excelente para la reproducción del milano real *Milvus milvus*. Zona muy importante para aves esteparias algunas de ellas incluidas en el Anexo I de la directiva Aves como el alcaraván *Burhinus oedicephalus*, la cogujada montesina *Galerida theklae*. Lugar de reproducción segura y hábitat adecuado para la especie endémica *Curruca balear Sylvia balearica* (Anexo I directiva). En estos terrenos se dan las condiciones ideales para la tortuga de tierra mediterránea *Testudo hermanni*, que presenta unos niveles poblacionales bastante elevados.

La frecuentación del lugar durante los últimos años ha sido muy elevada, con la incidencia que ello supone para las comunidades animales y vegetales, elevando su vulnerabilidad. El abandono de los amplios recintos militares ha facilitado el acceso a superficies extensas, parte de las cuales se encuentran incluidas en el lugar. Por otro lado, el atractivo paisajístico de los acantilados, algunos situados al lado de la carretera, ha de que sean muy visitados, especialmente durante la temporada alta. El litoral permaneció inalterado hasta la aparición de las primeras urbanizaciones en el tramo de este lugar. Estas urbanizaciones son un foco de partida de gran número de factores negativos, como la frecuentación de los alrededores, apertura de nuevas sendas y caminos, incremento de perros y, especialmente, de gatos asilvestrados y degradación de la vegetación por frecuentación del lugar, pisoteo, vertido de material de obra, etc. Las zonas urbanizadas o urbanizables se encuentran excluidas del lugar. También el incremento de embarcaciones deportivas en los puertos de la bahía de Palma ha provocado que la presencia de pescadores y embarcaciones deportivas en toda esta costa sea cada vez mayor, disminuyendo hacia el este. Todo ha ido en detrimento de la tranquilidad y conservación del lugar, y ha aumentado considerablemente su fragilidad. Los tramos más inaccesibles de la costa en acantilado solamente se han visto afectados por la introducción de especies aloctonas como *Carpobrotus edulis* y *Opuntia ficus-indica*, que han colonizado superficies bastante extensas del acantilado y de los taludes costeros.

#### **3.7.2.3 HÁBITAT 1240: ACANTILADOS CON VEGETACIÓN DE LAS COSTAS MEDITERRÁNEAS**

El único hábitat terrestre cartografiado en la zona donde se llevarán a cabo las obras y se emplazarán las instalaciones temporales es el 1240 Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas. Dicho hábitat se describe a continuación.

Se incluye en este tipo de hábitat la parte de los acantilados mediterráneos situada en primera línea costera, con topografías abruptas o verticales y con influencia máxima de los vientos y de las salpicaduras y los aerosoles marinos.

La vegetación que vive en este medio es una formación rupícola abierta dominada casi siempre por el hinojo de mar (*Crithmum maritimum*), al que acompañan con bastante fidelidad distintas especies de *Limonium*, generalmente endemismos de distribución muy restringida que dan variabilidad biogeográfica a estas comunidades. Estos medios son, además, refugio de otros muchos taxones de distribución restringida y adaptados a condiciones tan particulares como *Dianthus rupicola*, *Diplotaxis ibicensis* y *Helianthemum*

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

*caput-felis* (incluidas en el Anexo II de la Directiva Hábitat), o *Lotus cytisoides*, *Senecio crassifolius*, *Daucus carota subsp. hispanicus*, *D. carota subsp. commutatus*, *Asteriscus maritimus*, entre otras. La mayor diversidad y variabilidad de estas comunidades se da, con diferencia, en las islas Baleares.

La avifauna que anida en acantilados marinos mediterráneos es aún más rica que la de los acantilados atlánticos. Son destacables la pardela balear (*Puffinus mauretanicus*), el halcón de Eleonora (*Falco eleonora*) o el águila pescadora (*Pandion haliaetus*).

## 3.8 RECURSOS DISPONIBLES DE ÁRIDOS Y CANTERAS Y SU IDONEIDAD, PREVISIÓN DE DRAGADOS

### 3.8.1 ÁRIDOS Y CANTERAS

Las necesidades de áridos de las actuaciones proyectadas son las siguientes:

- Áridos (para diferente uso): 53,50 m<sup>3</sup>.

Todo este material será obtenido de canteras debidamente legalizadas.

### 3.8.2 DRAGADOS Y TRASVASE DE ARENAS

El proyecto no incluye ni dragados ni trasvase de arenas.

## 3.9 PLAN DE SEGUIMIENTO DE LAS ACTUACIONES PREVISTAS

Los objetivos del plan de seguimiento de las actuaciones previstas son los siguientes:

1. Controlar la correcta ejecución de las medidas previstas.
2. Verificar los estándares de calidad de los materiales (tierra, plantas, agua, etc.) y medios empleados.
3. Comprobar la eficacia de las medidas protectoras y correctoras establecidas y ejecutadas. Cuando tal eficacia se considere insatisfactoria, determinar las causas y establecer las soluciones adecuadas.
4. Detectar impactos no previstos y prever las medidas adecuadas para reducirlos, eliminarlos o compensarlos.
5. Informar a la persona asignada como encargado del seguimiento sobre los aspectos objeto de vigilancia y ofrecerle un método sistemático, lo más sencillo y económico posible, para realizar la vigilancia de una forma eficaz.
6. Describir el tipo de informes y la frecuencia y periodo de su emisión que deben remitirse a la Administración Competente.
7. Los aspectos más delicados y por lo tanto a los que más atención se prestará son los que pueden afectar a la calidad de suelos, aguas, atmósfera, y especialmente los referentes a los ecosistemas cercanos, flora y fauna, y a la seguridad de los vecinos y trabajadores.

### 3.9.1 RESPONSABILIDAD DEL SEGUIMIENTO

Durante la ejecución de las obras un técnico cualificado asumirá el seguimiento ambiental de obra. Las funciones de este técnico serán, entre otras:

- Realizar un seguimiento de la obra, desde el inicio hasta que ésta concluya.

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

- Elaborar informes sobre la afección de las diferentes actividades de las obras sobre el medio ambiente.
- Asesorar a la Dirección de Obra sobre cualquier aspecto medioambiental y sobre las correcciones o modificaciones que se introduzcan durante la ejecución de la obra.
- Notificar cualquier incidente o accidente ocurrido durante la ejecución de las obras que pudiera repercutir en el medio ambiente.
- Vigilar la correcta ejecución de las medidas preventivas y correctoras previstas.

#### 3.9.2 METODOLOGÍA DEL SEGUIMIENTO

La programación y el desarrollo de la actividad de obra recogerán las exigencias establecidas por las distintas medidas preventivas y de control que se establecen para la reducción de los riesgos ambientales. Se programarán las medidas preventivas al principio de la obra, las medidas preventivas coordinadas con las tareas de obra y las medidas asociadas a la finalización de la obra.

##### 3.9.2.1 MEDIDAS PREVENTIVAS PREVIO AL INICIO DE LA OBRA

Con carácter previo al comienzo de las obras la contrata de las mismas entregará a la persona nombrada por el jefe de obra como responsable del seguimiento un manual de buenas prácticas ambientales, que entre otras determinaciones incluirá:

- Prácticas de control de residuos y basuras. Se mencionarán explícitamente las referentes a control de aceites usados, restos de alquitrán, latas, envolturas de materiales de construcción, tanto plásticos como de madera.
- Actuaciones prohibidas mencionándose explícitamente la realización de hogueras, los vertidos de aceites usados, aguas de limpieza, escombros y basuras.
- Prácticas de conducción, velocidades máximas y obligatoriedad de circulación por los caminos estipulados en el plan de obras y en el replanteo.
- Prácticas tendentes a evitar daños superfluos a la vegetación o a la fauna.
- La realización de un Diario Ambiental de la Obra en el que se anotarán las operaciones ambientales realizadas y el personal responsable de cada una de esas operaciones y de su seguimiento.
- Establecimiento de un régimen de sanciones.
- Este manual deberá ser aprobado por el Director Ambiental de la obra y ampliamente difundido entre todo el personal.

Asimismo, se presentará toda la documentación relacionada con las características técnicas de la maquinaria y vehículos a utilizar en obra, y una relación de las últimas operaciones de mantenimiento de las mismas, así como la documentación de la ITV vigente (vehículos).

##### 3.9.2.2 CONTROL DE LAS TAREAS DE OBRA

Los controles a realizar durante la ejecución de las obras serán, como mínimo, los siguientes:

- Control de la velocidad de los vehículos en obra para evitar levantamiento de polvo.
- Control visual semanal del polvo depositado en una franja de 100 m en los alrededores de la zona de actuación.
- Control visual semanal para detectar daños innecesarios a la vegetación.

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

- Controlar que no se realiza mantenimiento de maquinaria en obra (cambios de aceite, latiguillos, etc), sino que se lleva a cabo en talleres autorizados.
- Control diario de la gestión de los residuos de obra que se generen.
- Control semanal de la gestión de residuos de aceites y lubricantes de la maquinaria.
- Control diario de la zona de obras sobre derrames o vertidos accidentales (lubricantes, combustibles, etc).
- Control de la generación de ruido debido a malas prácticas (uso innecesario del claxon, circulación a velocidad excesiva, etc).

#### 3.9.3 INFORMES

Se plantean los siguientes informes:

- Informes ordinarios. Se realizarán para reflejar el desarrollo de las labores de seguimiento ambiental, y su periodicidad será mensual.
- Informes extraordinarios. Se emitirán cuando exista alguna afección no prevista que precise una actuación inmediata y que merezca la emisión de un informe específico.
- Informes específicos. Se presentarán informes especiales ante cualquier situación especial que pueda suponer riesgo de deterioro de cualquier factor ambiental. En concreto se prestará atención a las siguientes situaciones:
  - Lluvias torrenciales que supongan riesgo de inundación o de alteración de materiales.
  - Accidentes producidos en fase de construcción que puedan tener consecuencias ambientales negativas.
  - Cualquier episodio sísmico.

#### 3.10 PROPUESTA PARA LA MINIMIZACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LAS OBRAS Y POSIBLES MEDIDAS CORRECTORAS Y COMPENSATORIAS

Este punto se encuentra incluido con más grado de detalle y desarrollo en el documento de repercusiones ambientales redactado por TANDEM Ecoserveis i Geotecnia S.L. y que también se incluye como documentación de subsanación.

A continuación, se presenta un resumen de dicho documento.

##### 3.10.1 AFECCIONES PREVISTAS

Existen unas posibles afecciones que pueden causar las actuaciones a realizar y los distintos elementos de las instalaciones objeto de estudio sobre el hábitat de la red Natura 2000 cartografiado y a las especies de posible presencia en la zona.

Los posibles impactos contemplados se centran en las afecciones que pueden causar los elementos de las actuaciones y los de las instalaciones sobre las especies y hábitats protegidos por las Directivas Comunitarias.

##### 3.10.1.1 ANÁLISIS DE AFECCIONES

A continuación se enumeran las diferentes afecciones que pueden producirse:



### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

- **Eliminación de vegetación.** Este impacto se puede considerar **poco probable a Nulo** dado que en las zonas donde se llevarán a cabo las actuaciones la flora es inexistente
- **Desarmonía.** En los distintos espacios evaluados, las actuaciones a ejecutar y las instalaciones son elementos de poca altura y pequeñas dimensiones que se sitúan en cuencas visuales reducidas, por lo que el impacto quedaría dentro de los límites de cada una de las cuencas, es por ello que la importancia global de este impacto se considera **Compatible**.
- **Ruido.** El impacto global se considera de **Compatible a Nulo**, debido a que el ruido de fondo ambiental (ruido de oleaje) puede apantallar significativamente los ruidos generados por las acciones.
- **Emisiones atmosféricas.** Dado que estas acciones se realizarán en horario diurno, y en una zona ventilada, no se prevé la acumulación de gases, por lo que el impacto sobre hábitats y especies considerados será de **Compatible a Nulo**.
- **Posible nidificación.** Se trata de un hecho poco probable, ya que se trata de una zona antropizada, transitada y desprotegida. El impacto se considera **Nulo**, debido a la escasa probabilidad de que se produzca.

Según todo lo descrito y analizado, el impacto producido se valora como **COMPATIBLE**, aplicando de las medidas preventivas descritas en el siguiente apartado.

#### 3.10.2 MEDIDAS PREVENTIVAS

Las medidas preventivas a adoptar sobre las posibles afecciones previstas son:

- **Eliminación de vegetación.** **Debe evitarse la colocación de los elementos sobre la flora si se observa la existencia de la misma.**
- **Desarmonía.** Se evitará, en la medida de lo posible, acciones que perturben la avifauna y el uso de elementos con una cromaticidad poco integrada, así como materiales desarmónicos con el entorno con el fin de no provocar cambios de comportamiento en la fauna asociada a la zona.
- **Ruido y emisiones atmosféricas.** La maquinaria a utilizar durante las obras debe tener la ITV en vigor y contar con placa de conformidad de marcado CE.
- **Posible nidificación.** Previo al desmontaje de las instalaciones deberá comprobarse que no se ha producido nidificación en estos elementos. Si se detectara la existencia de algún nido, se pondrá en conocimiento al organismo competente, quien decidirá la forma de actuar más oportuna.

## ANEXO I. CLIMA MARÍTIMO

## ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

### 1. OLEAJE

De cara al análisis del régimen de oleaje en aguas profundas, se han utilizado los datos de la Red SIMAR de Puertos del Estado, en concreto se ha empleado el nodo 2116114, para el análisis en régimen medio y extremal, y los datos del Proyecto MARUCA del IH de Cantabria, en concreto del nodo 6, para el análisis en régimen extremal.

Los datos de la Red SIMAR representan una serie con información direccional, y un registro que abarca desde enero de 1958 hasta octubre de 2020, con una periodicidad horaria, lo que confiere un registro continuo con apenas saltos, que supone un registro efectivo de más de 60 años.

En la siguiente figura se muestra las ubicaciones de las fuentes de datos y la zona objeto de estudio:



Figura 15.- Emplazamiento del nodo SIMAR.

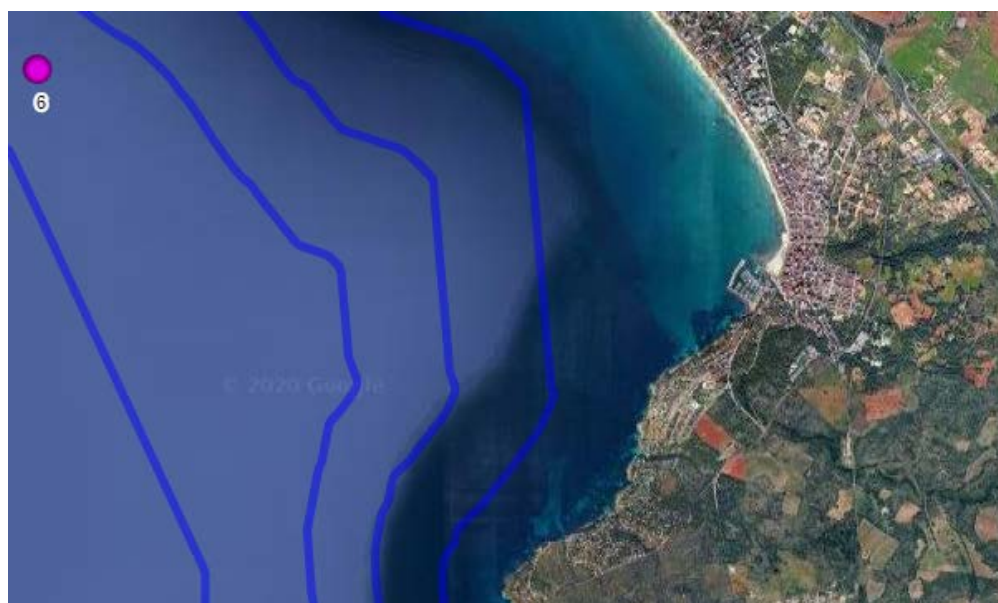


Figura 16.- Emplazamiento del nodo MARUCA.

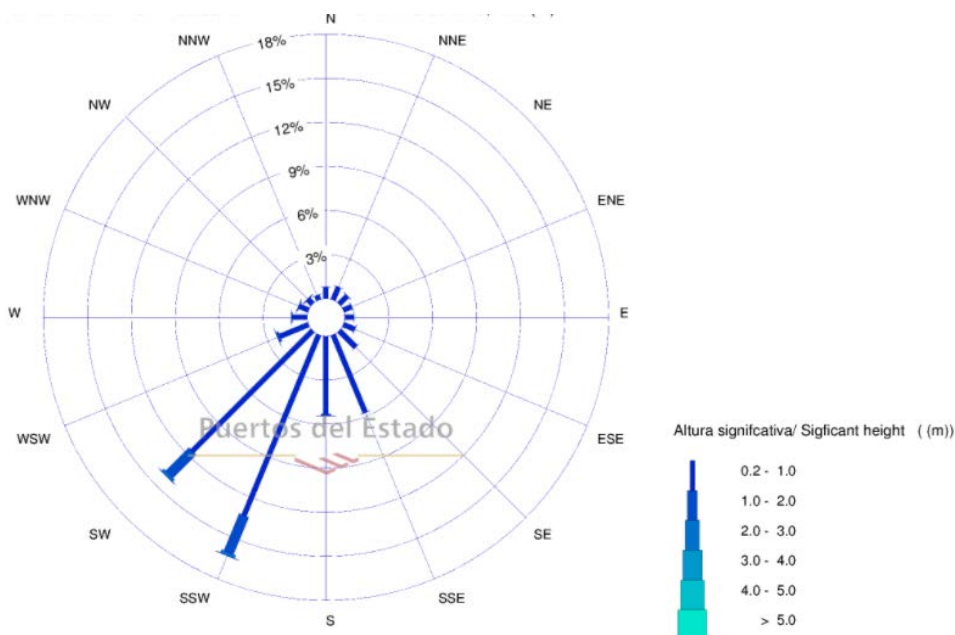
## ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

### 1.1 DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DEL OLEAJE

La distribución sectorial del oleaje queda caracterizada mediante las rosas de oleaje, que discretizan los datos en direcciones y alturas de ola. Cada sector se representa con un brazo de la rosa. La longitud de cada brazo es proporcional a la probabilidad de presentación de cada sector, calculada como la frecuencia relativa muestral, por lo que de esta forma se puede apreciar visualmente cuáles son los sectores que predominan. A su vez, la discretización en alturas de ola permite determinar cuáles son los sectores más energéticos.

En la siguiente figura se muestra la rosa de oleaje, en la que se aprecia como los oleajes principales son claramente del SW y SSW, siendo no sólo los sectores más frecuentes sino también los más energéticos, con valores máximos de altura de ola de hasta 4,5 metros (ver tabla de encuentros en la siguiente tabla).

Los oleajes que pueden tener incidencia dentro de la zona de estudio van del WSW al SE.



**Figura 17.-** Rosa de oleaje. Nodo SIMAR 2116114.

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

Dirección	Hs (m)												Total
	≤ 0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	> 5.0	
CALMAS	47.956												47.956
N 0.0		.673	.090	.004	.002	-	-	-	-	-	-	-	.768
NNE 22.5		.876	.097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.974
NE 45.0		.673	.077	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	.752
ENE 67.5		.524	.060	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	.586
E 90.0		.545	.064	.004	-	-	-	-	-	-	-	-	.613
ESE 112.5		.704	.095	.011	-	-	-	-	-	-	-	-	.810
SE 135.0		1.378	.143	.005	.001	-	-	-	-	-	-	-	1.527
SSE 157.5		5.114	.548	.008	-	-	-	-	-	-	-	-	5.669
S 180.0		4.391	.964	.096	.012	.003	-	-	-	-	-	-	5.465
SSW 202.5		7.385	6.192	2.155	.649	.168	.050	.012	.004	-	-	-	16.617
SW 225.0		6.871	4.392	1.627	.490	.119	.026	.014	.003	-	-	-	13.543
WSW 247.5		1.300	.693	.132	.024	.006	.001	.002	-	-	-	-	2.158
W 270.0		.715	.271	.053	.008	-	-	-	-	-	-	-	1.048
WNW 292.5		.480	.170	.053	.006	-	.002	-	-	-	-	-	.711
NW 315.0		.329	.101	.034	.012	.001	-	-	-	-	-	-	.478
NNW 337.5		.270	.052	.004	.002	-	-	-	-	-	-	-	.328
Total	47.956	32.226	14.007	4.190	1.206	.299	.081	.027	.007	-	-	-	100 %

**Tabla 1.-** Tabla de encuentros Hs - dirección. Nodo SIMAR 2116114.

## 1.2 RÉGIMEN MEDIO

El objetivo del estudio del régimen medio es caracterizar la probabilidad para diferentes niveles de altura de ola en un año medio. Esto se lleva a cabo mediante el ajuste de la muestra de alturas de ola a una función de distribución acumulada. La función utilizada habitualmente para caracterizar el régimen medio de oleaje es la distribución de Weibull de mínimos. Su función de distribución acumulada es:

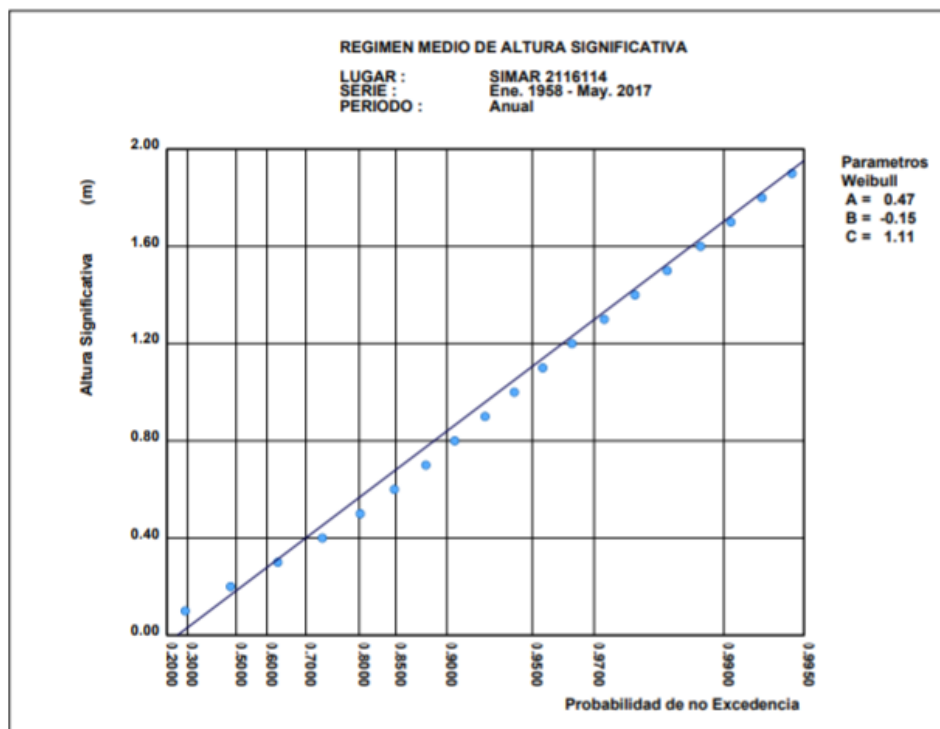
$$P[Hs \leq h] = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{h - A}{B} \right)^C \right]$$

donde A es el parámetro de posición, B es el parámetro de escala y C es el parámetro de forma. Los tres parámetros de esta distribución pueden obtenerse de la base de datos de Puertos del estado.

El análisis del régimen medio de oleaje se realiza a partir de los datos SIMAR, realizando un ajuste por mínimos cuadrados a una función de distribución de tipo Weibull triparamétrica. Los resultados se muestran en la siguiente figura.



### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL



**Figura 18.-** Régimen medio escalar. Nodo SIMAR 2116114.

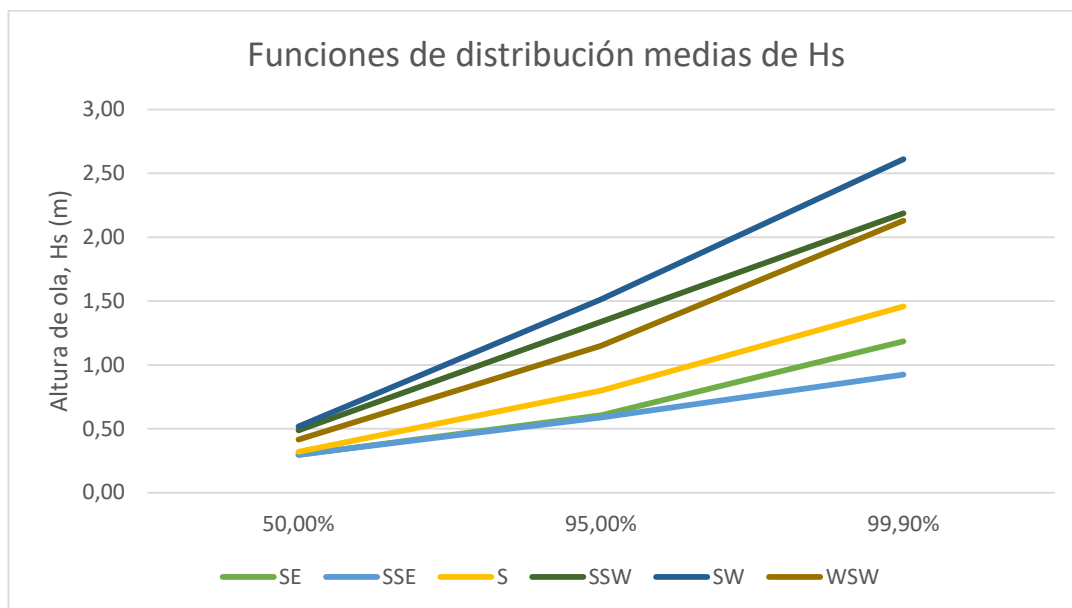
De la información del informe de la boya SIMAR 2116114 realizado por Puertos del Estado se pueden obtener los parámetros A, B y C, que se muestran en la siguiente tabla. Se presentan solo los datos de aquellas direcciones con más frecuencia.

PARÁMETROS WEIBULL			
	A	B	C
SE	0,10	0,23	0,83
SSE	0,15	0,19	1,12
S	0,19	0,19	0,94
SSW	0,53	0,09	1,28
SW	0,59	0,08	1,23
WSW	0,29	0,22	0,94

**Tabla 2.-** Parámetros de los ajustes a funciones Weibull. Nodo SIMAR 2116114.

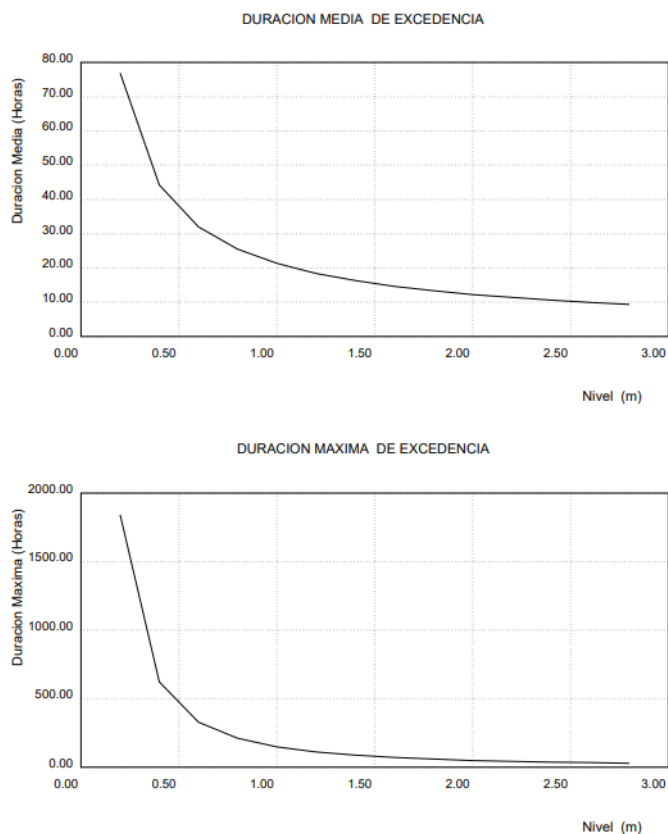
La siguiente figura muestra la gráfica de estas distribuciones Weibull. Puede observarse que el sector en el que se registran las mayores alturas de ola es el SW seguido de los sectores SSW y WSW, mientras que los sectores S, SE y SSE son los que menores alturas de ola registran.

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL



**Figura 19.-** Funciones de distribución medias direccionales de  $H_s$ . Nodo SIMAR 2116114.

En cuanto a las duraciones medias y máximas de las persistencias (es decir, el tiempo en el que la altura de ola  $H_s$  excede un determinado nivel de manera continuada) pueden observarse en la siguiente figura.



**Figura 20.-** Duraciones medias y máximas de las persistencias para diferentes niveles de  $H_s$ . Nodo SIMAR 2116114.

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

#### 1.3 RÉGIMEN EXTREMAL

Para la definición de los valores extremos se ha optado por seleccionar los valores máximos de altura de ola de los temporales ( $H_{s,max}$ ) que superan un determinado valor umbral. En particular se ha considerado una altura de ola umbral  $H_{s,umbral} = 3$  metros.

En la siguiente tabla se muestran las características de los temporales con  $H_{s,max} \geq 3m$  obtenidos en los registros del nodo SIMAR 2116114.

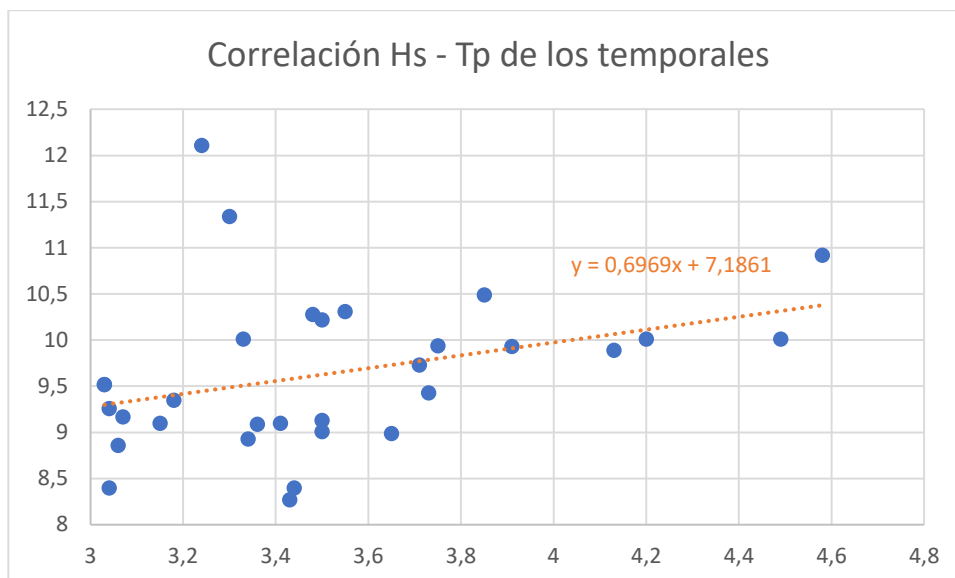
Fecha	Hs	Tp	Dm
14/04/1958	3,03	9,52	210
13/12/1958	3,18	9,35	210
01/12/1959	3,73	9,43	210
18/12/1968	3,07	9,17	212
14/01/1969	3,34	8,93	211
17/01/1973	3,03	9,52	210
20/12/1973	3,04	8,4	208
26/02/1989	3,55	10,31	213
04/01/1997	3,04	9,26	214
18/10/2003	3,44	8,40	201
29/10/2008	3,71	9,73	198
29/11/2008	4,13	9,89	210
24/01/2009	3,48	10,28	246
22/10/2009	3,36	9,09	213
22/12/2009	3,50	9,13	214
01/01/2010	3,50	10,22	222
09/11/2010	3,85	10,49	217
19/01/2013	3,91	9,93	215
25/12/2013	3,75	9,94	220
08/02/2014	3,06	8,86	214
04/11/2014	3,65	8,99	208
31/01/2015	3,30	11,34	220
04/03/2017	3,50	9,01	225
11/12/2017	4,58	10,92	211
11/03/2018	3,33	10,01	215
31/10/2018	3,41	9,10	198
01/02/2019	4,49	10,01	214
03/11/2019	3,15	9,10	232
21/12/2019	4,20	10,01	216
02/03/2020	3,43	8,27	218
02/10/2020	3,24	12,11	207

**Tabla 3.-** Características de los temporales. Nodo SIMAR 2116114.

Como puede observarse en la tabla anterior, las direcciones están comprendidas entre los  $198^\circ$  y los  $232^\circ$ , lo que corresponde a direcciones comprendidas entre S y WSW. Solo en 4 ocasiones se dan alturas de ola mayor a 4 metros, comprendidas entre  $210^\circ$  y  $216^\circ$ , lo que corresponde a direcciones comprendidas entre SSW y SW.

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

Por lo que respecta a los períodos pico del oleaje en los temporales, en la siguiente figura se muestran la función de correlación obtenida a partir de los pares de valores (Hs, Tp) correspondientes a los picos de los temporales obtenidos de la base de datos SIMAR.



**Figura 21.-** Distribución conjunta Hs-Tp de los temporales en el nodo SIMAR 2116114.

La variable altura de ola ha sido ajustada a una función de distribución GEV para la obtención de los regímenes extremal del oleaje. La función de distribución GEV tiene la siguiente forma:

$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp \left( - \left( 1 + \xi \left( \frac{x - \mu}{\psi} \right) \right)^{-1/\xi} \right)$$

En la siguiente tabla se muestran los valores del informe del nodo 6 del Proyecto MARUCA del IH de los parámetros para la distribución GEV en aquellas direcciones más predominantes.

PARAMETROS FUNCIÓN DISTR. GEV (R. EXTREMAL)			
	$\mu$	$\psi$	$\xi$
SE	0,933	0,152	0,034
SSE	1,363	0,262	0,008
S	3,025	0,548	-0,160
SSW	2,703	0,523	-0,122
SW	1,545	0,222	-0,175
WSW	1,221	0,189	-0,188

**Tabla 4.-** Parámetros de los ajustes a funciones GEV. Nodo 6.

La siguiente figura muestra la gráfica de estas distribuciones GEV. Puede observarse que el sector en el que se registran las mayores alturas de ola es el S seguido de los sectores SSW, mientras que los sectores SE y WSW son los que menores alturas de ola registran.

## ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

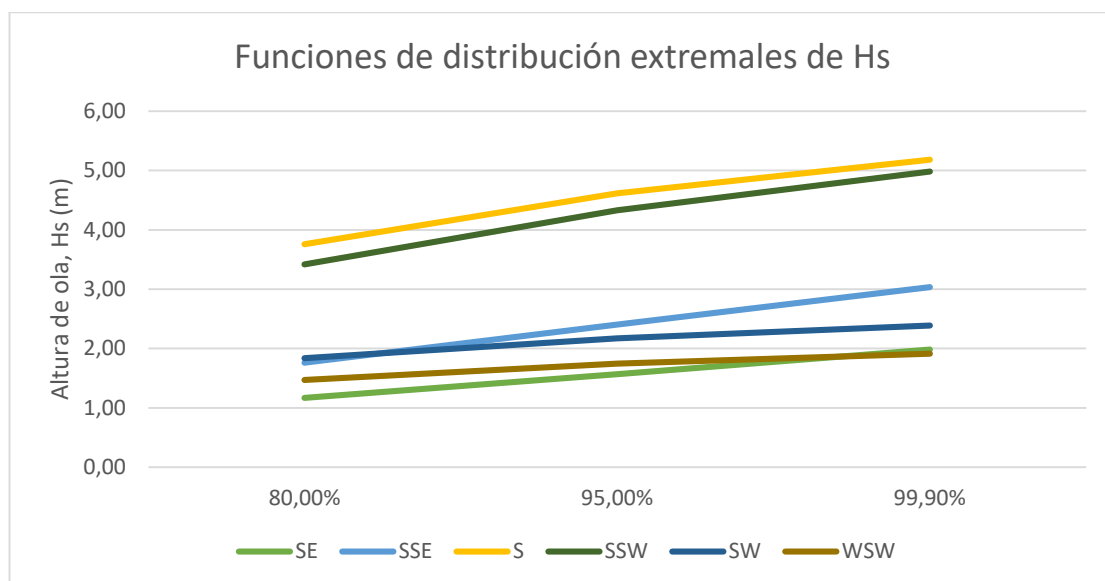


Figura 22.- Funciones de distribución extremas direccionales de Hs. Nodo 14.

## 2. VIENTO

### 2.1 RÉGIMEN MEDIO DE VIENTO

Se puede definir como régimen medio de una serie temporal al conjunto de estados climáticos que más probablemente se puede encontrar. Habitualmente se describe mediante una distribución teórica de los datos. La distribución elegida para realizar esta descripción suele ser la de Weibull.

### 2.2 DIRECCIONES

Por lo que respecta a la dirección del viento, en la siguiente figura se muestra la rosa del viento, de la que se desprende que el sector direccional con una mayor frecuencia de presentación es el NE, seguido del SW y ENE.



### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

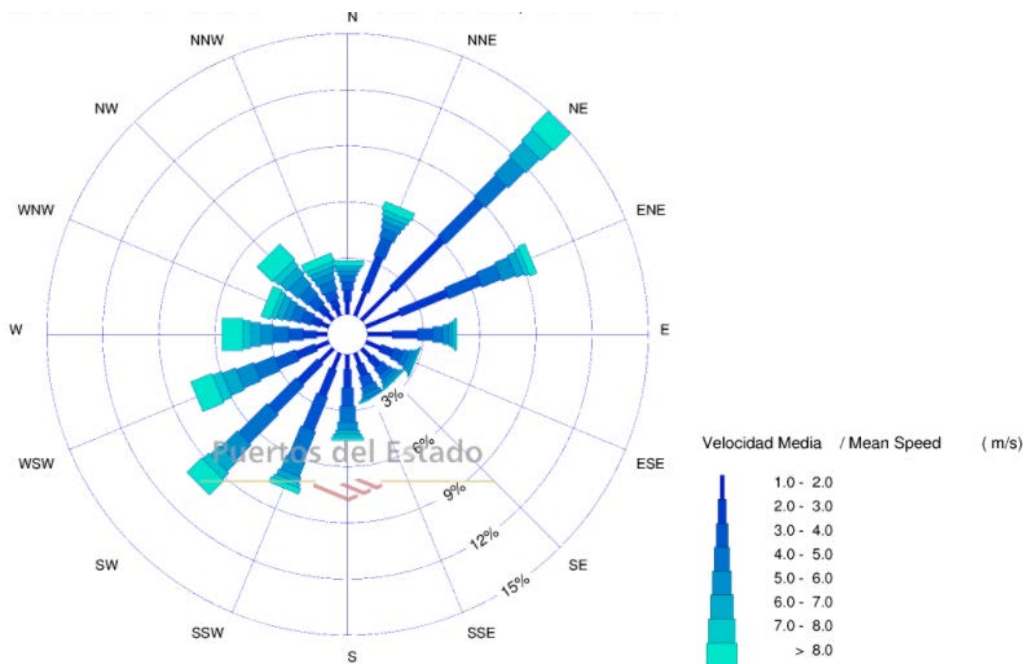


Figura 23.- Rosa de vientos (Fuente: PPEE).

## 2.3 PROBABILIDADES DE PRESENTACIÓN

En la siguiente tabla se presentan las probabilidades conjuntas de las direcciones de procedencia y las velocidades medias del viento ( $V_v$ ). En dicha tabla la última columna representa la probabilidad total de cada sector direccional y la última fila la frecuencia total (o escalar, es decir, sin tener en cuenta la dirección de procedencia) de cada intervalo de  $V_v$ .

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

Dirección	Ve (m/s)									Total
	≤ 1.0	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	> 21.0	
CALMAS	4.808									4.808
N 0.0		1.604	1.799	1.009	.386	.074	.021	.008	-	4.900
NNE 22.5		1.725	2.201	.989	.404	.068	.004	-	-	5.390
NE 45.0		2.141	3.392	1.674	.556	.123	.045	.004	-	7.935
ENE 67.5		2.285	3.936	1.860	.482	.101	.025	-	-	8.688
E 90.0		2.221	3.019	1.064	.238	.053	.012	-	-	6.608
ESE 112.5		1.889	2.135	.338	.039	-	-	-	-	4.402
SE 135.0		1.868	1.721	.226	.016	-	-	-	-	3.831
SSE 157.5		1.817	1.526	.174	.021	.008	-	-	-	3.546
S 180.0		1.848	1.948	.330	.072	.014	.004	-	-	4.217
SSW 202.5		2.281	2.812	.825	.357	.082	.016	-	-	6.373
SW 225.0		2.279	4.168	2.033	.861	.152	.045	.012	-	9.550
WSW 247.5		2.004	2.992	1.528	.697	.211	.074	.041	-	7.548
W 270.0		1.848	2.307	1.161	.420	.148	.033	.016	-	5.934
WNW 292.5		1.645	2.111	.980	.500	.137	.016	.008	-	5.398
NW 315.0		1.538	1.994	1.460	.699	.369	.084	.029	-	6.174
NNW 337.5		1.368	1.860	.948	.381	.096	.033	.012	-	4.699
Total	4.808	30.361	39.921	16.599	6.131	1.637	.412	.131	-	100 %

**Tabla 5.-** Tabla de encuentros Vv – dirección (Fuente: PPEE).

## 2.4 FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN MEDIAS

En general, los regímenes medios anuales de la velocidad del viento pueden ser ajustados a unas distribuciones triparamétricas de Weibull cuya expresión es:

$$F_e(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x-B}{A}\right)^C\right)$$

En particular se ha hecho uso de la información del Informe de esta estación realizada por Puertos del Estado, del que se han obtenido los parámetros A, B, C que se muestran en la Tabla 2.- para los diferentes sectores direccionales y de interés y para la totalidad de datos (función escalar).

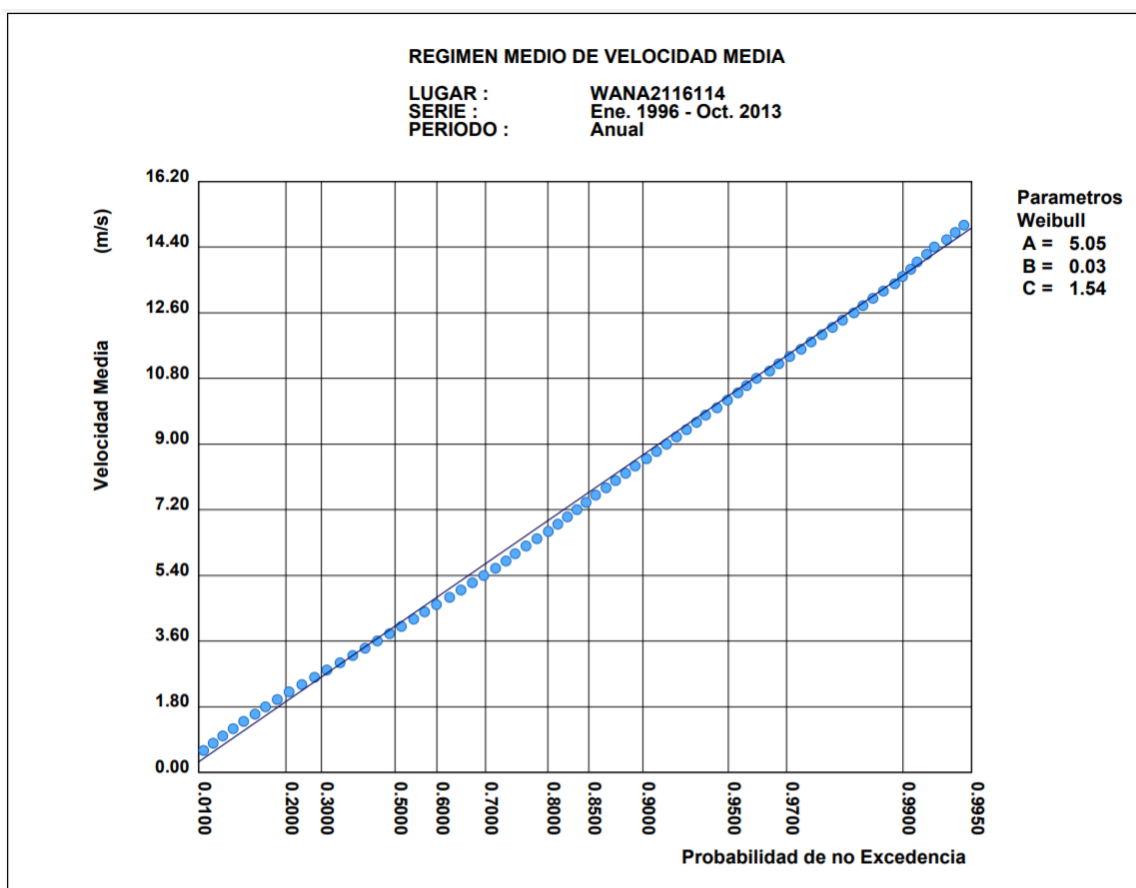
PARAMETROS WEIBULL			
	A	B	C
N	5,03	0,43	1,61
NNE	5,44	0,00	1,92
NE	4,69	0,79	1,53
ENE	4,78	0,62	1,69
E	3,84	0,87	1,50
ESE	3,22	0,73	1,72
SE	2,64	0,92	1,55
SSE	2,11	1,23	1,20

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL

S	2,78	1,07	1,29
SSW	4,47	0,40	1,56
SW	4,91	0,82	1,58
WSW	5,32	0,57	1,48
W	4,88	0,60	1,47
WNW	5,49	0,19	1,68
NW	7,15	-0,34	1,85
NNW	4,99	0,54	1,51

**Tabla 6.** Parámetros ajuste direccional regímenes medios de viento.

En las siguiente figura se muestran las gráfica de la distribución Weibull anual.

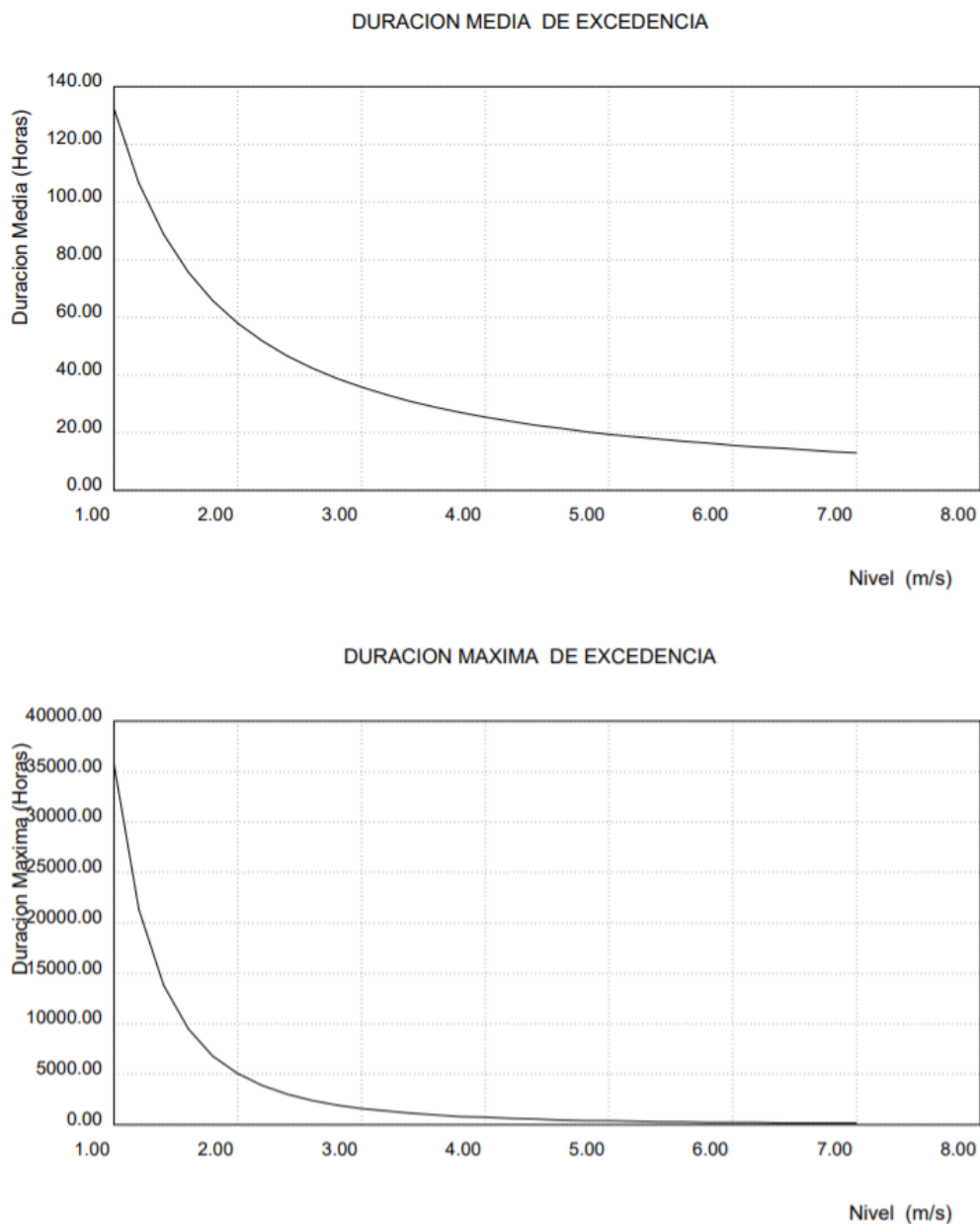


**Figura 24.-** Función de distribución Weibull anual.

## 2.5 PERSISTENCIAS

En la siguiente figura se muestran las duraciones medias y máximas de las persistencias (es decir, el tiempo en el que la velocidad media del viento  $V_v$  excede un determinado nivel de manera continuada). Así las persistencias asociadas a una altura  $H_s = 3$  m/s tienen una duración media de 38 h y una duración máxima de 200 h.

### ANÁLISIS DE DINÁMICA LITORAL



**Figura 25.-** Duraciones medias y máximas de las persistencias para diferentes niveles de  $V_v$ .