

DOCUMENTO N° 1
Anejo n° 3. Clima marítimo

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	3
2 FUENTES DE INFORMACIÓN DE OLEAJE.....	4
2.1 R.O.M. 03-91.....	4
2.2 Datos numéricos SIMAR (SIMAR-44 & WANA).....	6
2.3 Base de datos de Oleaje NOAA.....	11
2.4 Selección de la fuente de datos.....	12
3 CARACTERIZACIÓN MEDIA DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS.....	13
3.1 Distribución sectorial del oleaje.....	13
3.1.1 Altura de ola.....	13
3.1.2 Periodo	16
3.2 Régimen medio escalar.....	19
4 CARACTERIZACIÓN EXTREMAL DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS.....	21
4.1 Régimen extremal escalar	21
4.2 Régimen extremal direccional.....	22
4.3 Periodo de retorno de diseño.....	23
5 NIVELES DEL MAR.....	26
6 CAMBIO CLIMÁTICO.....	28
7 COTA DE INUNDACIÓN.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Zonificación en el Atlas de Clima Marítimo (ROM 0.3-91)	4
Figura 2.- Posición de los registros instrumentales y observaciones visuales del Área X (R.O.M. 0.3-91)	5
Figura 3.- Posición de las boyas de registros instrumentales de la zona X y cuadrícula de observaciones visuales.....	5
Figura 4.- Distribución espacial de los nodos de la red SIMAR (SIMAR-44 & WANA).....	7
Figura 5.- Posición de los nodos SIMAR.....	8
Figura 6.- Distribución conjunta periodo de pico y altura significativa del nodo 1017010 (Subconjunto SIMAR-44).....	8

Figura 7.-	Rosa de oleaje anual del nodo 1017010 (Subconjunto SIMAR-44).....	9
Figura 8.-	Registros de Hs y Tp de los datos del nodo 1017010 (Subconjunto WANA).....	9
Figura 9.-	Distribución direccional de los datos de oleaje y distribución de alturas de ola (Subconjunto WANA).....	10
Figura 10.-	Altura de ola (malla global de 30 minutos).....	12
Figura 11.-	Altura de ola. Zoom en la zona de océano atlántico (malla global de 30 minutos)	12
Figura 12.-	Rosa de la altura de ola de la serie NOAA 27.5°N16.0°O (1979-2012).....	13
Figura 13.-	Sectores de oleaje incidentes (Herramienta de prediseño ODIN del software de modelado costero SMC)	14
Figura 14.-	Histograma de la variable Hs de la serie NOAA 27.5°N16.0°O (1979-2012) ...	15
Figura 15.-	Función de distribución de la variable Hs de la serie NOAA 27.5°N16.0°O (1979-2012)	15
Figura 16.-	Registro de oleaje de los datos de WaveWatch III en el punto 27.5°N 16.0°O. Serie Hs en el periodo 1979-2012.....	16
Figura 17.-	Registro de oleaje de los datos de WaveWatch III en el punto 27.5°N 16.0°O. Serie Tp en el periodo 1979-2012.....	16
Figura 18.-	Rosa de la variable Tp de la serie NOAA 27.5°N16.0°O (1979-2012).....	17
Figura 19.-	Histograma de Tp.....	18
Figura 20.-	Función de distribución de Tp.....	18
Figura 21.-	Ajuste de Hs y mediante distribución log-normal.....	19
Figura 22.-	Ajuste de Tp mediante distribución normal.....	20
Figura 23.-	Ajuste de extremos de Hs mediante la función de distribución de Gumbel.....	21
Figura 24.-	Ajuste de extremos de Hs mediante la función de distribución GEV.....	22
Figura 25.-	Ajuste de extremos de Hs mediante la función de distribución de Gumbel a los sectores WNW a SSE.....	22
Figura 26.-	Ajuste de extremos de Hs mediante la función de distribución GEV a los sectores WNW a SSE.....	23
Figura 27.-	Localización del mareógrafo de Arinaga.....	26
Figura 28.-	Registros de máximos, mínimos y medias mensuales del nivel del mar en el mareógrafo de Arinaga.....	26
Figura 29.-	Niveles de marea en el puerto de Las Palmas (NGU 340).....	27
Figura 30.-	Posición Del nodo 365 del visor C3E (proyecto “Cambio Climático en la Costa de España”).....	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.-	Probabilidades de dirección y estadísticos básicos de altura de ola.....	11
-----------	--	----

Tabla 2.-	Tabla de estadísticos básicos de la variable Hs de la serie NOAA 27.5°N16.0°O (1979-2012)	14
Tabla 3.-	Tabla de estadísticos básicos de la variable Tp de la serie NOAA 27.5°N16.0°O (1979-2012)	17
Tabla 4.-	IRE y vida útil mínima en función del tipo de obra para áreas litorales.	24
Tabla 5.-	ISA y probabilidad conjunta de fallo en función del tipo de obra para áreas litorales.	24
Tabla 6.-	Vida útil, probabilidad de fallo y periodo de retorno de actuaciones en la costa	25
Tabla 7.-	Alturas de ola en régimen extremal asociadas a periodos de retorno de diseño	25
Tabla 8.-	Oleaje extremal (Hs, Tp) asociado a los diferentes periodos de retorno de diseño	25
Tabla 9.-	Armónicos de marea del mareógrafo de Arinaga (Puertos del Estado).....	27
Tabla 10.-	Tabla de ceros de la REDMAR	28
Tabla 11.-	Niveles de marea medio máximo, medio mínimo y medio, según mareógrafo de Arinaga.....	28
Tabla 12.-	Niveles de marea máximo, mínimo y medio, en la actualidad y en el año horizonte 2040	29
Tabla 13.-	Cota de Inundación según datos del visor C3E.....	30

1 INTRODUCCIÓN

La caracterización del clima marítimo en aguas profundas, y su posterior propagación hasta aguas de profundidades reducidas, es fundamental para el estudio del comportamiento de una playa frente a la acción del oleaje y mareas.

El clima marítimo comprende principalmente la descripción del oleaje en cuanto a altura de ola, periodo y nivel del mar a lo largo de un determinado periodo de tiempo. Se trata de un fenómeno estocástico, cuya caracterización se realiza desde dos puntos de vista, el régimen medio, para el análisis a largo plazo, y el régimen extremal, para el estudio de la respuesta del litoral frente a eventos de temporal.

En primer lugar se procede al análisis y selección de las fuentes de información que resultan más adecuadas para la caracterización del clima marítimo. Posteriormente, se procede a la determinación de los parámetros estadísticos que describen el régimen medio y el régimen extremal del oleaje.

El documento finaliza con la obtención de los casos a propagar u oleaje de diseño.

2 FUENTES DE INFORMACIÓN DE OLEAJE

2.1 R.O.M. 03-91

La información de Clima Marítimo de la ROM 0.3-91, establece áreas homogéneas de caracterización del oleaje en aguas profundas para aquellas zonas costeras que presenten *fetch* semejante para cada una de las direcciones incidentes significativas del oleaje.

La zona que abarca el frente litoral de estudio, al sur de la isla de Gran Canaria, corresponde al Área X (Figura 1.-).

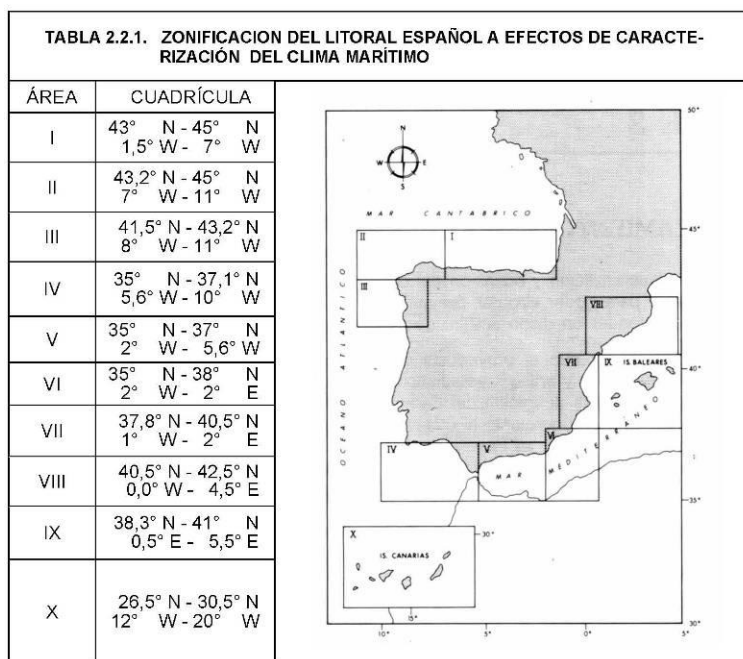


Figura 1.- Zonificación en el Atlas de Clima Marítimo (ROM 0.3-91)

La metodología de la ROM 0.3-91 se basa en el análisis estadístico de la información disponible procedente de dos fuentes:

- Datos visuales de oleaje en profundidades indefinidas, con carácter direccional, almacenados en la Base de Datos Visuales del CEPYC.
- Datos Instrumentales escalares de oleaje, registrados por las boyas pertenecientes a la red REMRO.

Los resultados del tratamiento de dicha información se recogen en la ROM a modo de fichas del clima marítimo en aguas profundas de cada una de las zonas mencionadas.

Sin embargo, para la zona X, los registros instrumentales medidos mediante boya fueron obtenidos mediante una boya frente al puerto de Santa Cruz de Tenerife (1) y una segunda boya frente al puerto de Las Palmas (2).

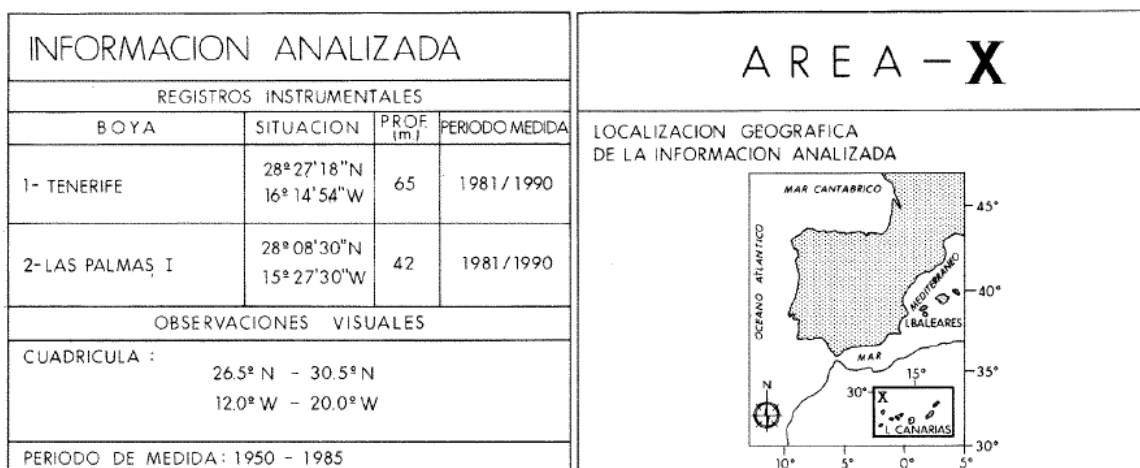


Figura 2.- Posición de los registros instrumentales y observaciones visuales del Área X (R.O.M. 0.3-91)



Figura 3.- Posición de las boyas de registros instrumentales de la zona X y cuadrícula de observaciones visuales

Teniendo en cuenta la posición de los registros instrumentales con respecto a la posición de la playa del estudio (T), se considera que la representatividad de esta fuente de datos de oleaje es limitada.

2.2 Datos numéricos SIMAR (SIMAR-44 & WANA)

Los datos numéricos SIMAR se han generado a partir de series temporales de parámetros de viento y oleaje procedentes de modelado numérico con cobertura variable según zona marítima. Se trata de datos de diagnóstico o análisis a partir de campos de viento y presión consistentes con las observaciones realizadas.

Las series SIMAR surgen de la concatenación de los dos grandes conjuntos de datos simulados de oleaje con los que tradicionalmente ha contado Puertos del Estado: SIMAR-44 y WANA. El objetivo es el de poder ofrecer series temporales más extensas en el tiempo y actualizadas diariamente. De este modo, el conjunto SIMAR ofrece información desde el año 1958 hasta la actualidad.

El **subconjunto SIMAR-44 (1958-1999)** se constituye a partir de modelado numérico de alta resolución de atmósfera, nivel del mar y oleaje que cubre todo el entorno litoral español. La simulación de atmósfera y oleaje en la cuenca mediterránea han sido realizadas por Puertos del Estado en el marco del Proyecto Europeo HIPOCAS. Los datos del dominio Atlántico y el Estrecho de Gibraltar proceden de dos simulaciones análogas de oleaje y viento, una realizada por Puertos del Estado de forma independiente y la otra por Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA) en el marco del proyecto VANIMEDAT-II.

Para la obtención de los datos de viento en el Atlántico y del Estrecho de Gibraltar se ha utilizado el modelo regional RCA3.5 alimentado con los datos del reanálisis atmosférico global ERA-40. Estas simulaciones fueron realizadas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, www.aemet.es) con una resolución en la malla de 12' de latitud por 12' de longitud (aproximadamente 20 Km por 20 Km).

Para generar los campos de oleaje se ha utilizado en modelo numérico WAM. Este modelo utilizado para generar estos datos incluye efectos de refracción y asomeramiento. No obstante, dada la resolución del modelo, se pueden considerar despreciables los efectos del fondo.

Para el área atlántica se ha utilizado una malla de espaciamiento variable que cubre todo el Atlántico Norte con una resolución de 30' latitud x 30' longitud para las zonas más alejadas de la Península Ibérica y de Canarias, aumenta a 15' de latitud x 15' de longitud al aproximarse.

Las series del **subconjunto WANA (2000-actualidad)**, proceden del sistema de predicción del estado de la mar que Puertos del Estado ha desarrollado en colaboración con la Agencia Estatal de Meteorología. No obstante, los datos WANA no son datos de predicción sino datos de diagnóstico o análisis.

La resolución temporal y espacial de los datos a partir de los cuales se genera la información del conjunto WANA ha mejorado de 3 h y 15 km periodo 1996-2006, en las Islas Canarias, a 1 h y 5 km en el periodo de 2012-presente.

Se ha realizado una descomposición de mar de viento y mar de fondo. Con el fin de describir situaciones con mares de fondo cruzados, se han considerado dos contribuciones posibles para el mar de fondo.

Para su uso práctico los datos de oleaje de la red SIMAR, independientemente del nodo escogido, deben de interpretarse siempre como datos en aguas abiertas a profundidades indefinidas.

La figura siguiente muestra las posiciones la nueva red de datos SIMAR almacenados en el Banco de Datos Oceanográficos.



Figura 4.- Distribución espacial de los nodos de la red SIMAR (SIMAR-44 & WANA)

Los nodos SIMAR ubicados frente a la playa objeto de estudio son siguientes: 1015009, 1016011, 1017010 y 1018010, cuya localización se muestra en la Figura 5.-



Figura 5.- Posición de los nodos SIMAR

Teniendo en cuenta la posición de la zona de estudio y de los nodos más cercanos, finalmente se selecciona el nodo SIMAR 1017010, para el análisis de clima marítimo, por lo que se adquirieron del Banco de Datos Oceanográficos de Puertos del Estado.

El análisis estadístico de los datos muestra los siguientes resultados principales:

LUGAR : SIMAR_1017010

PERIODO : Anual

SERIE ANALIZADA : Ene. 1958 - Dic. 2001

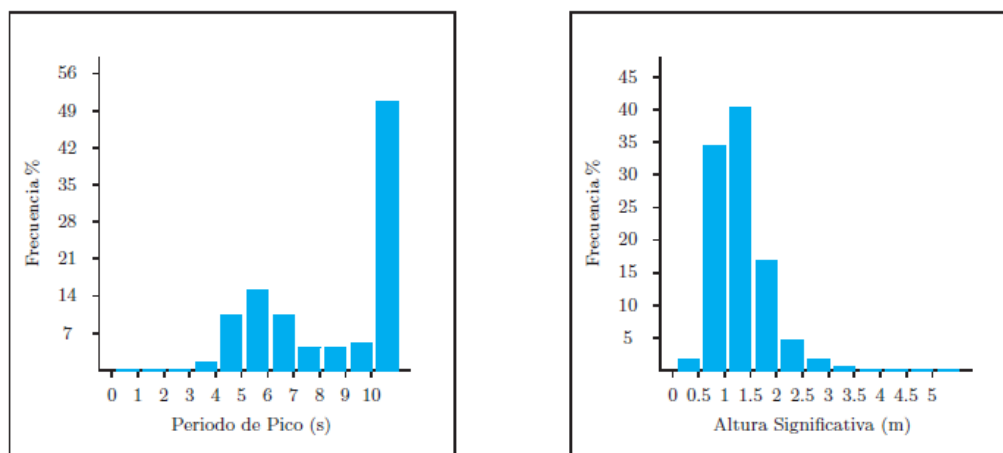


Figura 6.- Distribución conjunta periodo de pico y altura significativa del nodo 1017010 (Subconjunto SIMAR-44)

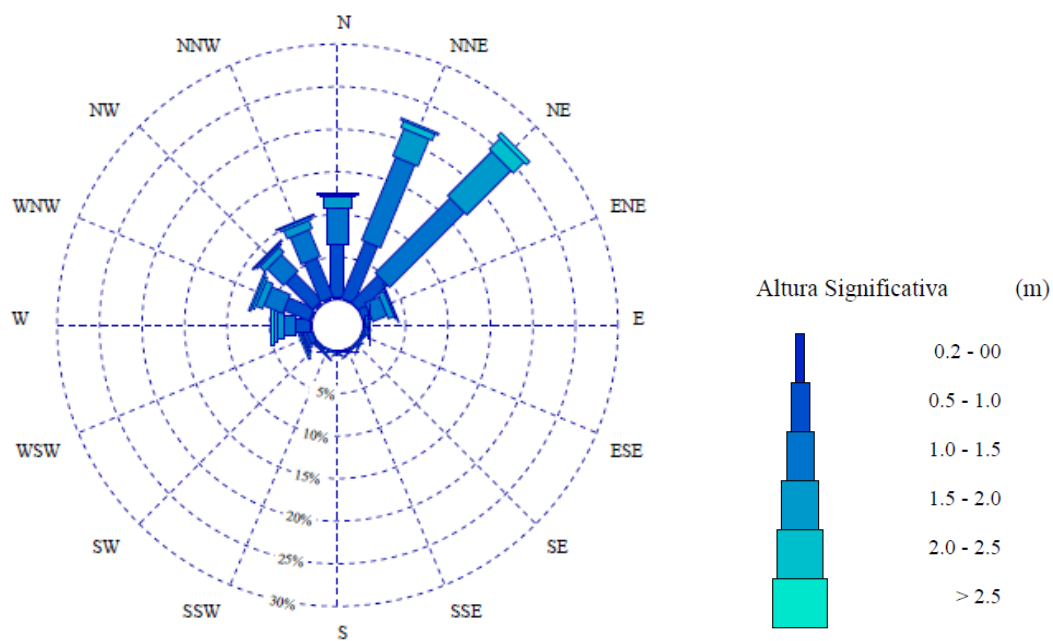


Figura 7.- Rosa de oleaje anual del nodo 1017010 (Subconjunto SIMAR-44)

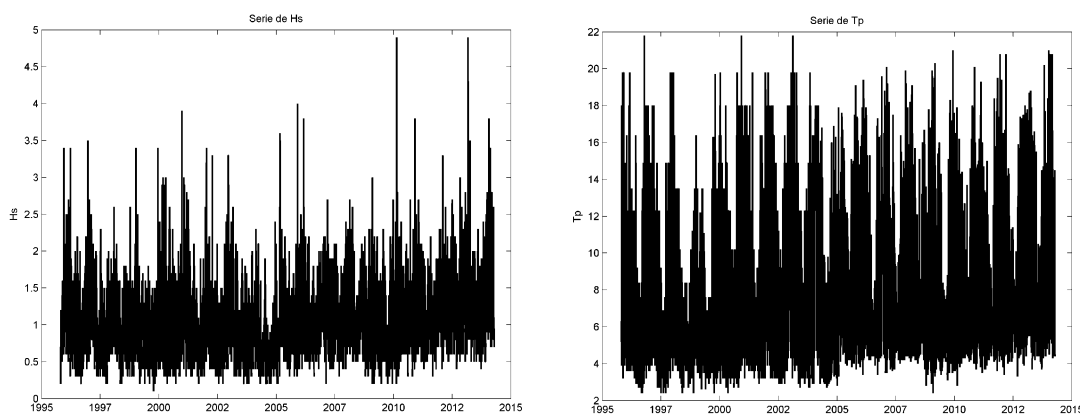


Figura 8.- Registros de Hs y Tp de los datos del nodo 1017010 (Subconjunto WANA)

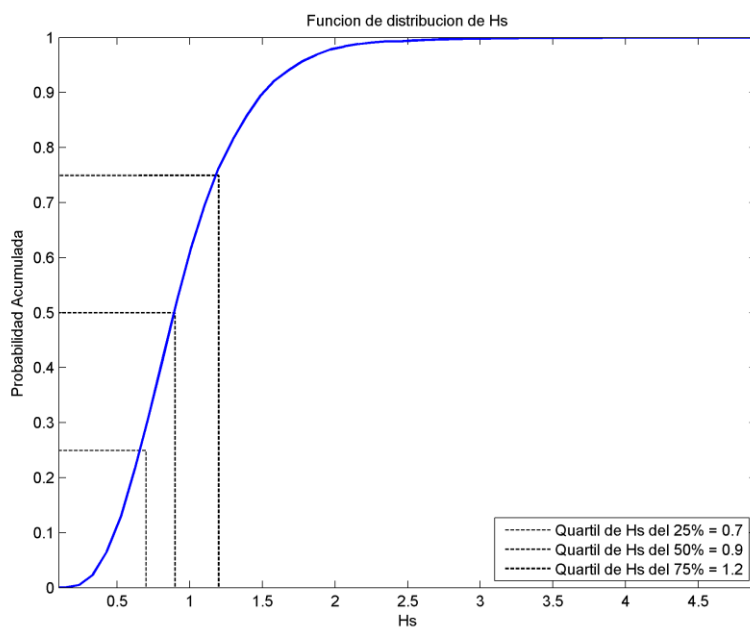
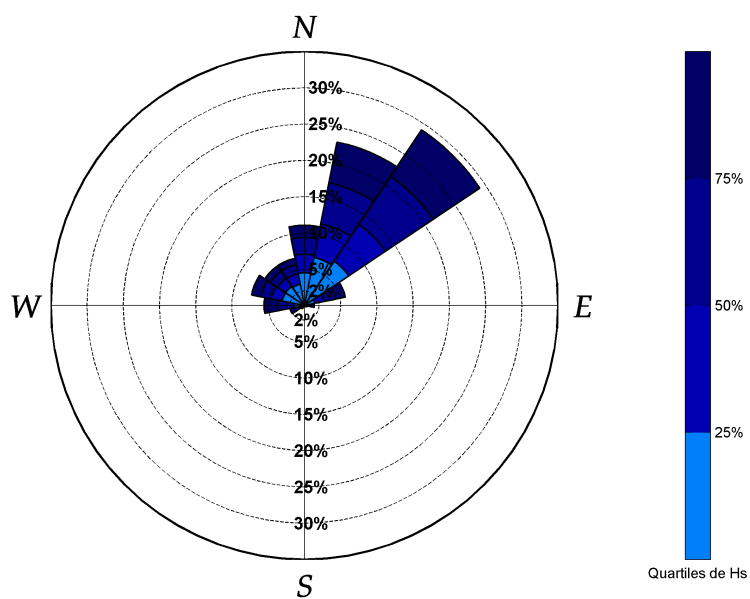


Figura 9.- Distribución direccional de los datos de oleaje y distribución de alturas de ola (Subconjunto WANA)

TABLA ESTADÍSTICOS BÁSICOS

Variable medida: Hs

direcciones(°)	prob.direccion	Hs _{50%}	Hs _{90%}	Hs _{99%}	Hs ₁₂
N	0.1104	0.8000	1.4000	2.0000	2.4551
NNE	0.2295	1.0000	1.6000	2.0000	2.4000
NE	0.2908	1.0000	1.6000	2.3000	2.8000
ENE	0.0574	1.0000	1.5000	2.2000	2.9000
E	0.0136	1.0000	1.5000	2.4000	2.8549
ESE	0.0035	1.0000	1.8000	3.0450	3.4000
SE	0.0021	1.1000	1.8000	2.1420	2.2000
SSE	0.0014	1.0000	1.4900	2.2560	2.3000
S	0.0018	1.1000	1.7200	2.4000	2.4000
SSW	0.0021	1.2000	2.0000	3.3430	3.4000
SW	0.0053	1.1000	2.2000	3.3000	3.5000
WSW	0.0202	1.4000	2.4000	3.4170	4.7170
W	0.0557	1.0000	1.9000	3.3000	4.5800
WNW	0.0744	0.8000	1.4000	2.2000	3.3000
NW	0.0658	0.8000	1.4000	2.0000	2.7000
NNW	0.0660	0.8000	1.4000	2.1000	2.9293

Tabla 1.- Probabilidades de dirección y estadísticos básicos de altura de ola

Un primer análisis estadístico de los datos SIMAR del punto considerado, muestra que la mayor parte de las direcciones de oleaje proceden de los dos primeros cuadrantes, por lo que, teniendo en cuenta la posición de la playa de estudio, y según el régimen medio de oleaje, ésta se encontrará muy frecuentemente frente a estados de calma u oleajes de muy baja altura de ola.

Sin embargo, de los datos de la red calibrada SIMAR (SIMAR44 & WANA), cabe resaltar que el propio documento de “Conjunto de datos SIMAR” de fecha de publicación 25/06/2015, indica como “Precauciones de uso” que “en el Sur del Archipiélago Canario pueden no reproducirse bien condiciones procedentes del Suroeste”, que resultan las más relevantes para la zona de estudio, por lo que se buscan otras posibles fuentes de información sobre oleaje para contrastar la información obtenida.

2.3 Base de datos de Oleaje NOAA

Las series numéricas de oleaje desde 1979 a 2012 del *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* se han tomado como fuente datos para caracterizar el oleaje en aguas profundas frente a la Playa de Medio Almud debido a su continuidad, duración (33 años), frecuencia (3h) y calidad.

Las series de oleaje del NOAA se han obtenido a partir de registros reales de viento mediante el modelo de tercera generación WaveWatch III.

WaveWatch III™ (Tolman 1997, 1999, 2009) es un modelo de oleaje de tercera generación desarrollado por el NOAA/NCP a partir del modelo WAM (WAMDIG 1988, Komen *et al.* 1994). Las versiones anteriores corresponden al modelo WaveWatch, desarrollado por la Delft University of Technology (Tolman 1989, 1991) y WaveWatch II, desarrollado por la NASA, Goddard Space Flight Center (e.g., Tolman 1992).

WaveWatch III™, sin embargo, difiere de sus predecesores en importantes aspectos como las ecuaciones de generación de oleaje a partir de viento, la estructura del modelo, los métodos numéricos empleados y los parámetros físicos empleados.

Wavewatch III resuelve la fase aleatoria de la ecuación de balance de densidad espectral para espectros de oleaje direccionales. La hipótesis implícita de esta ecuación es que las propiedades de profundidad, corrientes y campo de oleaje varían en tiempo y escala mucho mayores que las variaciones de una ola simple.

La malla de simulación empleada es la de ámbito global (30 arc-minute global gris) de frecuencia de 3h. A continuación se puede observar la representación de altura de ola para dicha malla en dos días sucesivos:

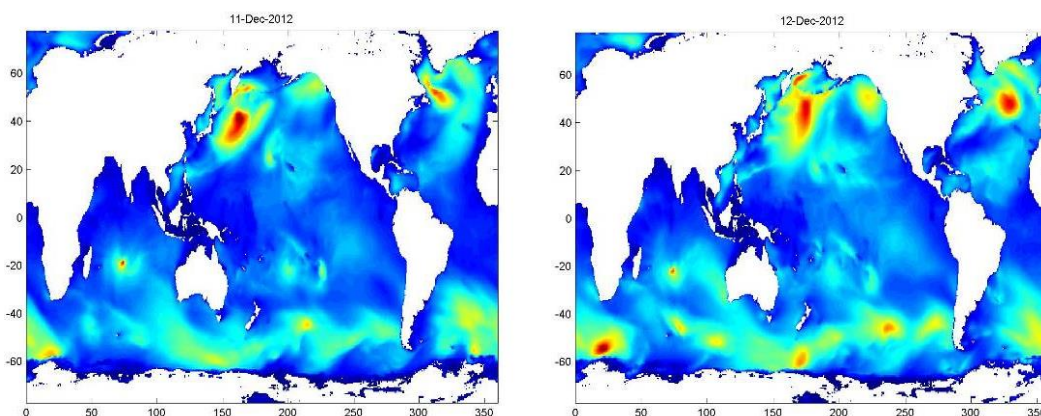


Figura 10.- Altura de ola (malla global de 30 minutos)

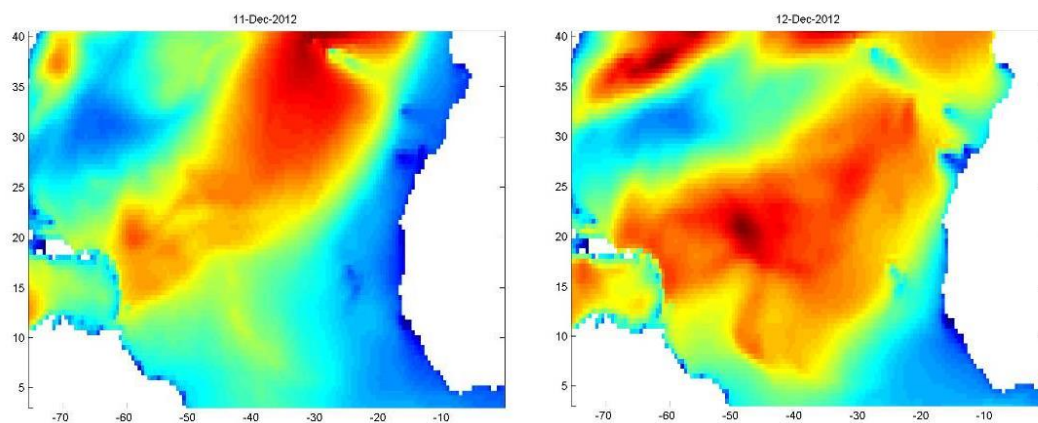


Figura 11.- Altura de ola. Zoom en la zona de océano atlántico (malla global de 30 minutos)

2.4 Selección de la fuente de datos

Partiendo de las fuentes de datos descritas en el apartado anterior, se debe escoger cuál de ellas, o que combinación de ellas, resulta más representativa del régimen de oleaje en la zona de estudio.

Teniendo en cuenta las precauciones de uso de los datos numéricos de la red SIMAR, se considera que la serie de oleaje del NOAA es la que mejor representa las condiciones de oleaje en aguas profundas para la zona de estudio.

OLEAJE NOAA (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION)		
Periodo	Longitud	Latitud
1979-2012	-16,00E	27,50N

3 CARACTERIZACIÓN MEDIA DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS

3.1 Distribución sectorial del oleaje

3.1.1 Altura de ola

El análisis de la distribución sectorial del oleaje permite determinar las direcciones significativas de los oleajes susceptibles de afectar al tramo litoral de playa de Medio Almud.

La Tabla 2.- representa la rosa exterior de oleaje de los datos NOAA en el punto 27.5°N 16°O, y la Tabla 2.- la información correspondiente a los estadísticos básicos de la variable altura de ola significativa de este registro de datos entre los años 1979 y 2012, con la probabilidad de ocurrencia asociada a cada una de las direcciones de procedencia del oleaje.

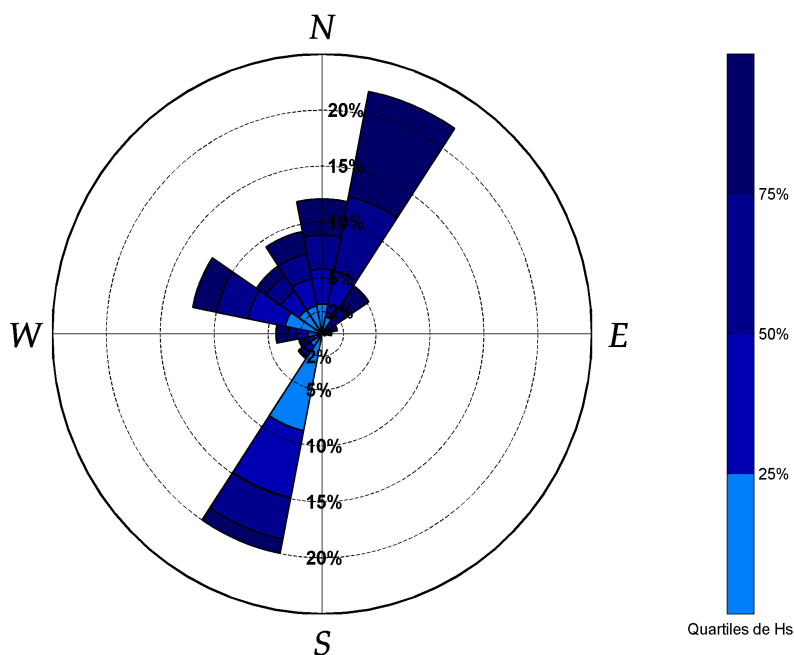


Figura 12.- Rosa de la altura de ola de la serie NOAA 27.5°N16.0°O (1979-2012)

TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida: Hs

direcciones(°)	prob.direccion	Hs _{50%}	Hs _{90%}	Hs _{99%}	Hs ₁₂
N	0.1204	1.1800	1.8100	2.5300	3.1971
NNE	0.2207	1.4000	1.9800	2.5966	3.1500
NE	0.0519	1.4100	1.9700	2.6741	3.2791
ENE	0.0144	1.4100	1.9500	2.6277	3.1345
E	0.0087	1.4300	1.9500	2.4085	2.8584
ESE	0.0031	1.4200	2.1300	3.3690	3.9500
SE	0.0008	1.3850	1.8650	2.1990	2.2200
SSE	0.0005	1.4600	1.7970	2.1528	2.1600
S	0.0005	1.2100	1.9480	2.2596	2.2600
SSW	0.1996	0.9600	1.3800	1.7800	2.0652
SW	0.0264	0.9200	1.3800	2.7836	3.9486
WSW	0.0219	1.0300	2.0500	4.2306	5.1085
W	0.0426	1.0900	2.2100	3.4035	4.3914
WNW	0.1221	1.1000	1.6500	2.5657	3.2639
NW	0.0730	1.0400	1.5700	2.1000	2.7380
NNW	0.0932	1.1300	1.7100	2.2900	2.8944

Tabla 2.- Tabla de estadísticos básicos de la variable Hs
de la serie NOAA 27.5°N16.0°O (1979-2012)

Dada la configuración de la costa y la rosa de oleaje presentada en la Figura 13.-, el abanico de oleajes susceptibles de incidir en la playa objeto de estudio son los provenientes del rango direccional WNW a SSE que reúne el 41% de los oleajes registrados en la serie del NOAA.

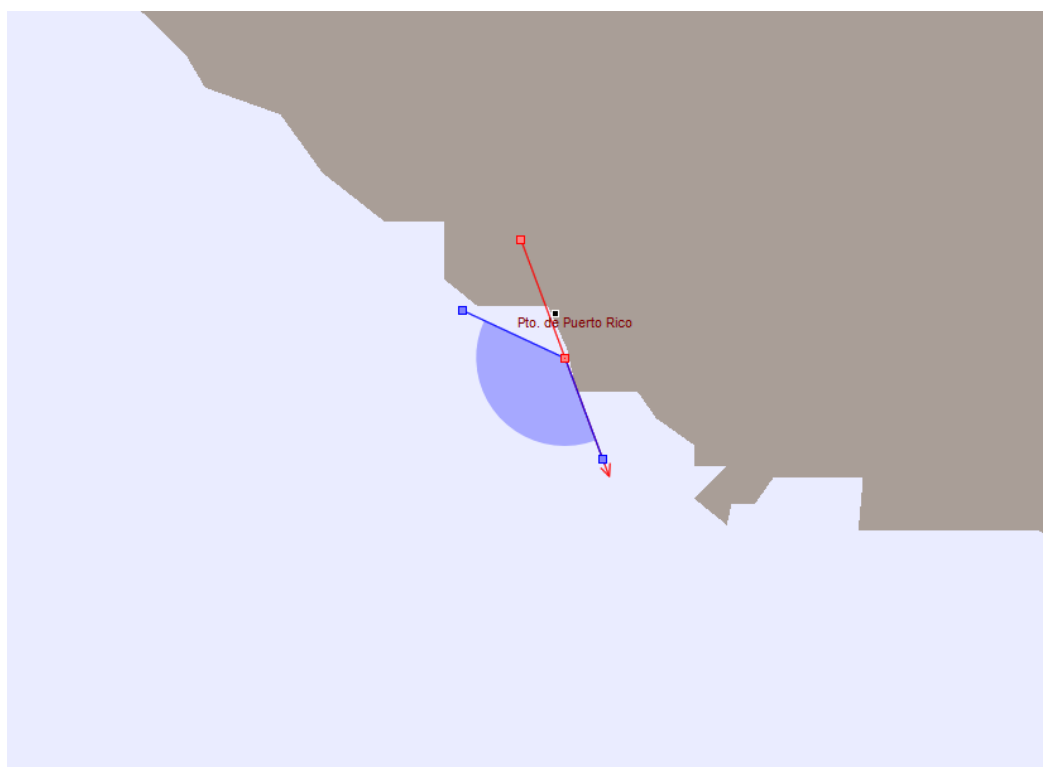


Figura 13.- Sectores de oleaje incidentes (Herramienta de prediseño ODIN del software de modelado costero SMC)

De entre ellos, el sector de oleaje reinante y dominante es el SSW, en concordancia con el mayor fetch, que atraviesa el Océano Atlántico.

Para la variable direccional altura de ola significativa, H_s , se han obtenido, además, otros descriptores básicos como el histograma y la función de distribución empírica, extrayéndose de esta última que la mitad del tiempo los oleajes en aguas profundas del litoral objeto de estudio presentan alturas de ola entorno 1,2 m.

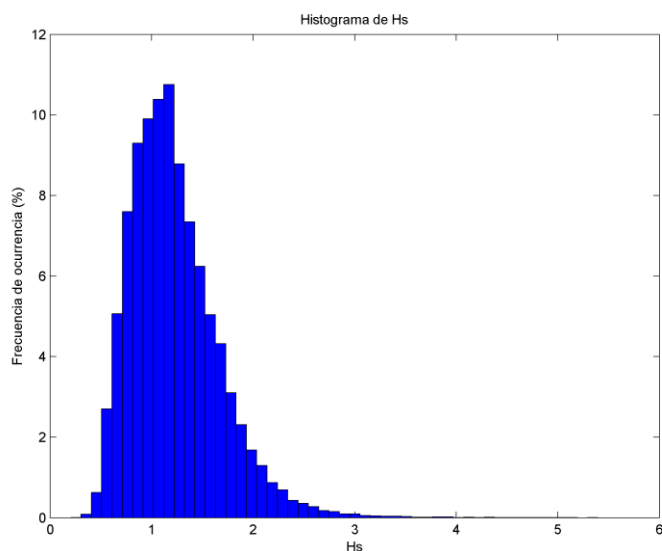


Figura 14.- Histograma de la variable H_s de la serie NOAA 27.5°N16.0°O (1979-2012)

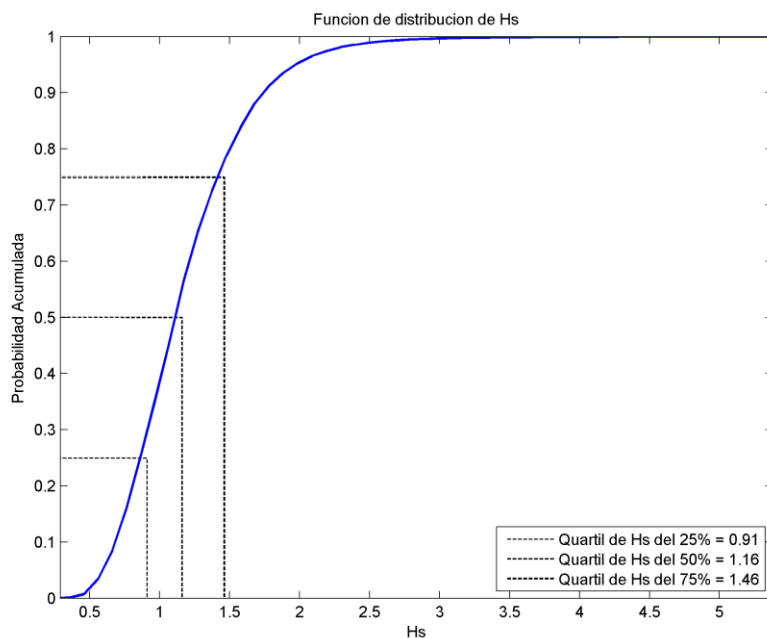


Figura 15.- Función de distribución de la variable H_s de la serie NOAA 27.5°N16.0°O (1979-2012)

La Figura 16.- y la Figura 17.- muestran el registro de oleaje de alturas de ola y periodos desde 1979 hasta 2012.

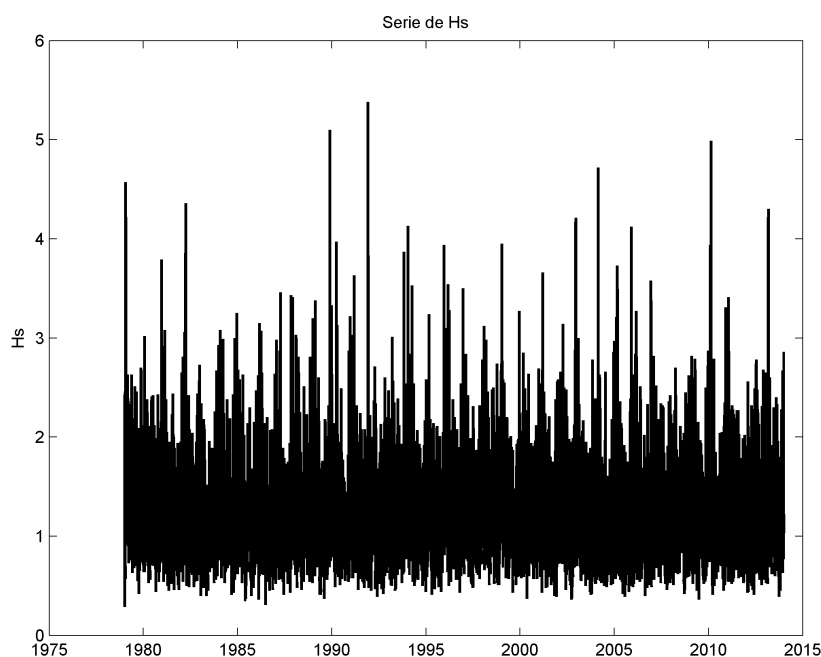


Figura 16.- Registro de oleaje de los datos de WaveWatch III en el punto 27.5°N 16.0°O. Serie Hs en el periodo 1979-2012.

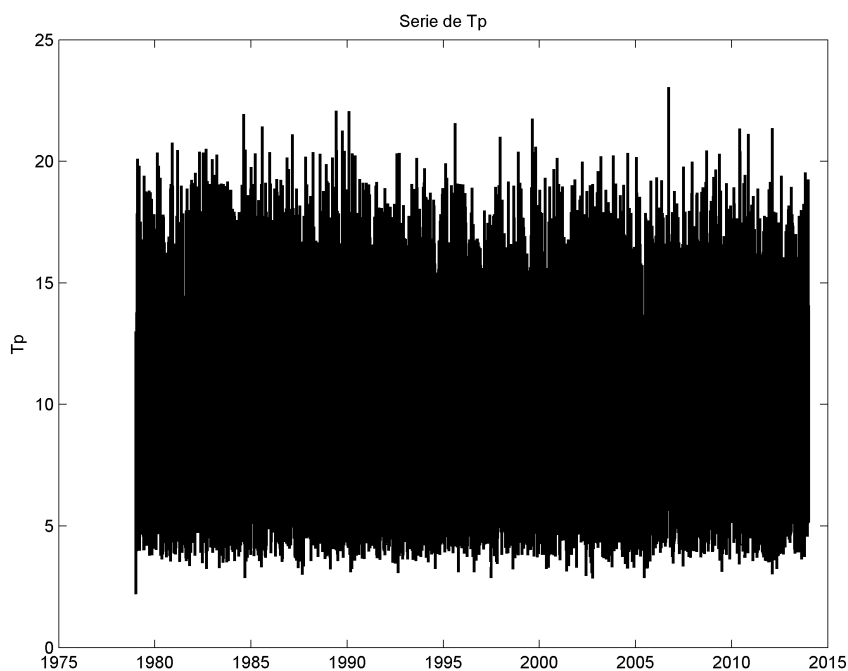


Figura 17.- Registro de oleaje de los datos de WaveWatch III en el punto 27.5°N 16.0°O. Serie Tp en el periodo 1979-2012.

3.1.2 Periodo

Análogamente se representa la distribución sectorial del periodo de pico del oleaje por direcciones, así como sus estadísticos básicos.

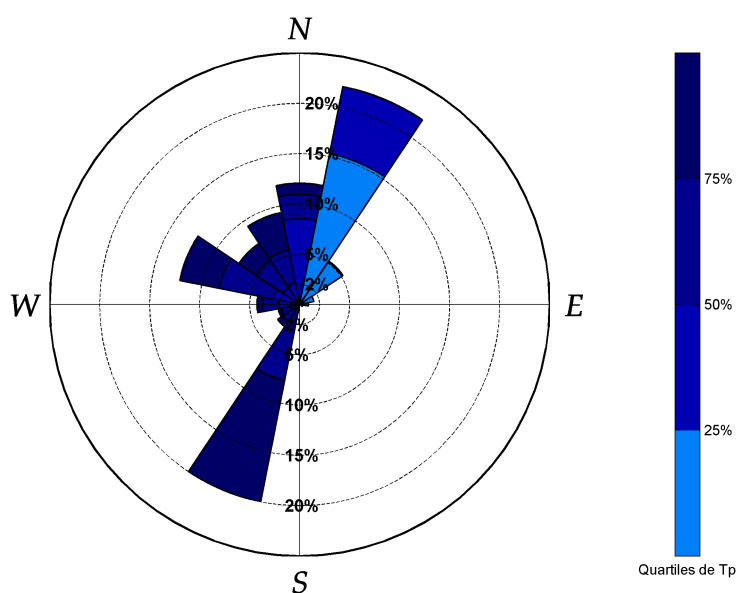


Figura 18.- Rosa de la variable T_p de la serie NOAA 27.5°N16.0°O (1979-2012)

TABLA ESTADÍSTICOS BÁSICOS

Variable medida: T_p

direcciones(°)	prob.direccion	$T_{p_{50\%}}$	$T_{p_{90\%}}$	$T_{p_{99\%}}$	$T_{p_{12}}$
N	0.1204	10.0700	13.3000	17.3326	19.1956
NNE	0.2207	6.7300	8.6000	10.0300	11.3425
NE	0.0519	5.3800	6.5400	7.9182	8.7923
ENE	0.0144	5.1900	5.9500	6.7754	7.3920
E	0.0087	5.1600	5.8900	6.3710	6.5537
ESE	0.0031	5.0400	5.9600	6.9935	7.3700
SE	0.0008	4.9850	5.6500	6.1430	6.1700
SSE	0.0005	5.0450	5.6640	6.0598	6.0700
S	0.0005	5.2000	15.5680	16.5566	16.5600
SSW	0.1996	13.7900	16.5400	19.0300	20.5512
SW	0.0264	12.4300	14.3580	16.2018	17.0794
WSW	0.0219	11.7350	13.8600	16.0924	17.5882
W	0.0426	11.2100	13.6200	15.8774	17.0305
WNW	0.1221	12.5900	15.0500	17.4957	19.0839
NW	0.0730	12.3200	14.7600	17.2537	18.7938
NNW	0.0932	12.7900	16.0480	18.5700	19.7774

Tabla 3.- Tabla de estadísticos básicos de la variable T_p de la serie NOAA 27.5°N16.0°O (1979-2012)

Asimismo se representa el histograma de periodo de pico y su función de distribución empírica de la que se extrae que el 50% del tiempo los periodos del oleaje son de 11.2 s (Figura 19.-).

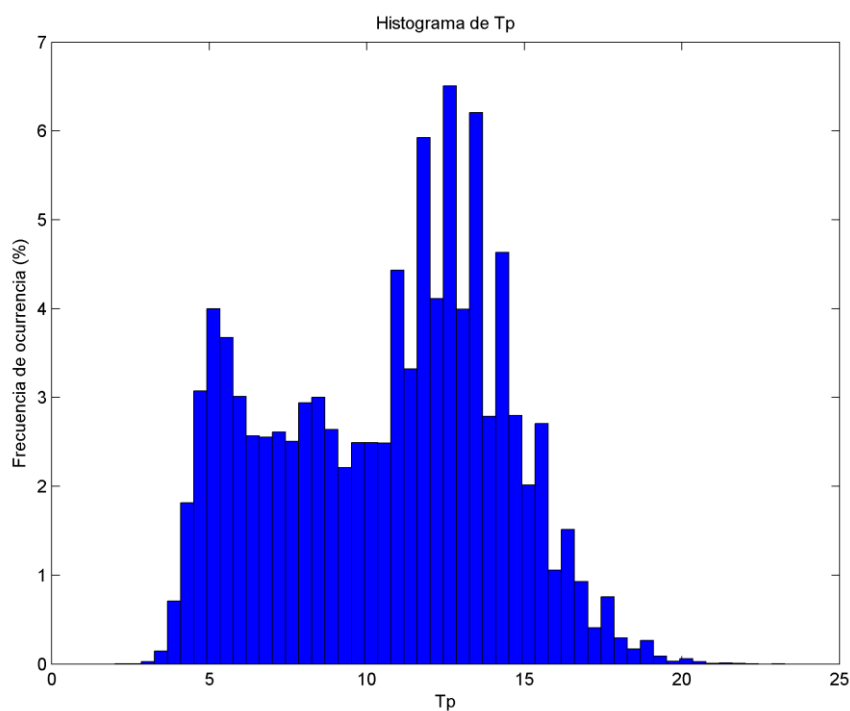


Figura 19.- Histograma de T_p

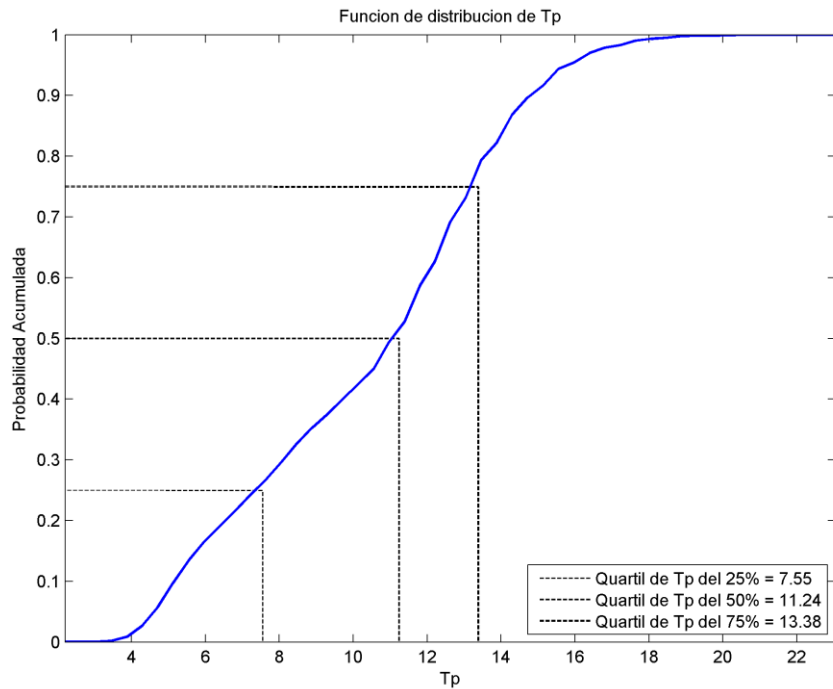


Figura 20.- Función de distribución de T_p

3.2 Régimen medio escalar

Se entiende por régimen medio la probabilidad de que un determinado valor de algún parámetro de estado de mar no sea superado en la serie temporal media del lugar donde se está llevando a cabo el estudio.

El objetivo principal de este análisis es reproducir las condiciones más frecuentes o reinantes del oleaje en el año climático medio, para lo cual se ajustan los datos de H_s y T_p a una serie de funciones de distribución a fin de encontrar la que mejor represente su comportamiento.

Se obtiene así que, tanto los valores de altura de ola significativa, de la serie de oleaje del área de estudio, se distribuyen acordes a una función Log-Normal, tal que:

$$y = F(x) = \Phi\left(\frac{\log(x) - \mu^*}{\sigma^*}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^*} \int_{-\infty}^x \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\log(x) - \mu^*}{\sigma^*}\right)^2\right] dx \quad -\infty < x < \infty \quad (1)$$

donde:

- $\Phi(z)$ es la distribución de la variable z normal estándar $N(0,1)$
- μ^* es la media de la distribución normal original (parámetro de localización)
- σ^* es la desviación típica de la distribución normal original (parámetro de escala)

El ajuste de la variable H_s mediante la función de distribución estadística log-normal se considera adecuado, con un índice de correlación $R^2=99.96\%$ para los valores de los parámetros $\mu^*=0.127$ y $\sigma^*=0.3497$.

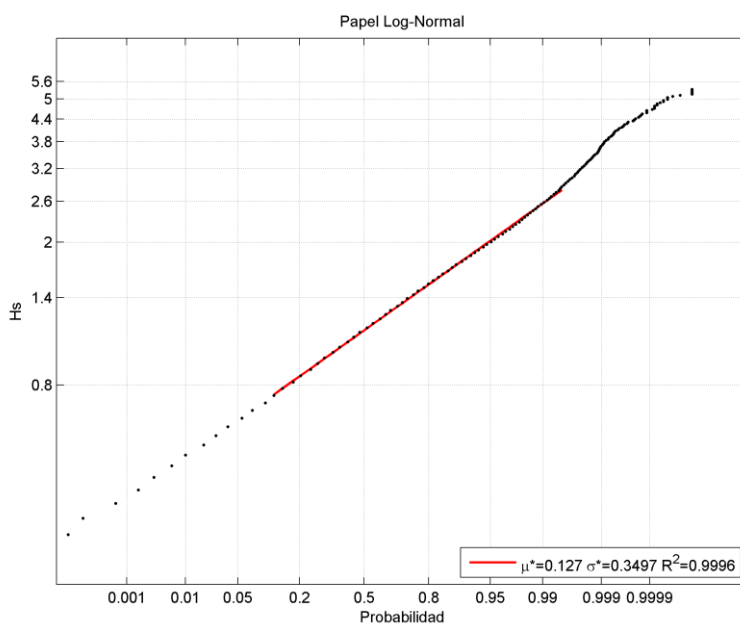


Figura 21.- Ajuste de H_s y mediante distribución log-normal

Los valores de periodo de pico, se distribuyen de acuerdo con una función Normal, tal que:

$$y = F(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^x \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^2\right] dx \quad -\infty < x < \infty \quad (2)$$

donde:

- $\Phi(z)$ es la distribución de la variable z normal estándar N(0,1)
- μ es la media de la distribución normal original (parámetro de localización)
- σ es la desviación típica de la distribución normal original (parámetro de escala)

El ajuste de la variable T_p mediante la función de distribución estadística normal se considera adecuado, con un índice de correlación $R^2=97.78\%$ para los valores de los parámetros $\mu=10,35$ y $\sigma=3,46$.

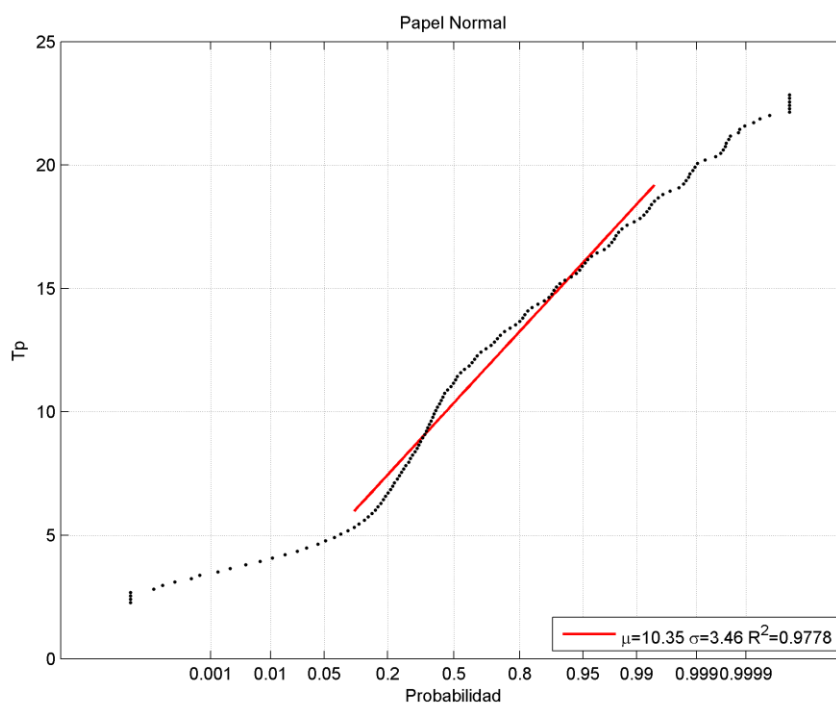


Figura 22.- Ajuste de T_p mediante distribución normal

4 CARACTERIZACIÓN EXTREMAL DEL OLAJE EN AGUAS PROFUNDAS

Para obtener el oleaje extremo en aguas profundas se ha analizado estadísticamente la serie de datos de 1979 a 2012 mediante el método clásico de selección de valores extremos de máximos anuales, ajustando la serie a la función de distribución biparamétrica Gumbel de máximos, y a la función de distribución triparamétrica General de Valores Extremos (GEV), con la finalidad de analizar la conveniencia de utilizar una u otra distribución.

El proceso anterior se lleva a cabo a través del programa CAROL v1.0 del Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria aplicando en primer lugar al registro escalar de oleaje, y posteriormente, a los distintos sectores direccionales.

4.1 Régimen extremal escalar

En la Figura 24.- se muestran los ajustes obtenidos de la variable altura de ola significativa máxima anual del registro escalar de datos a las funciones de distribución Gumbel de máximos y GEV, respectivamente.

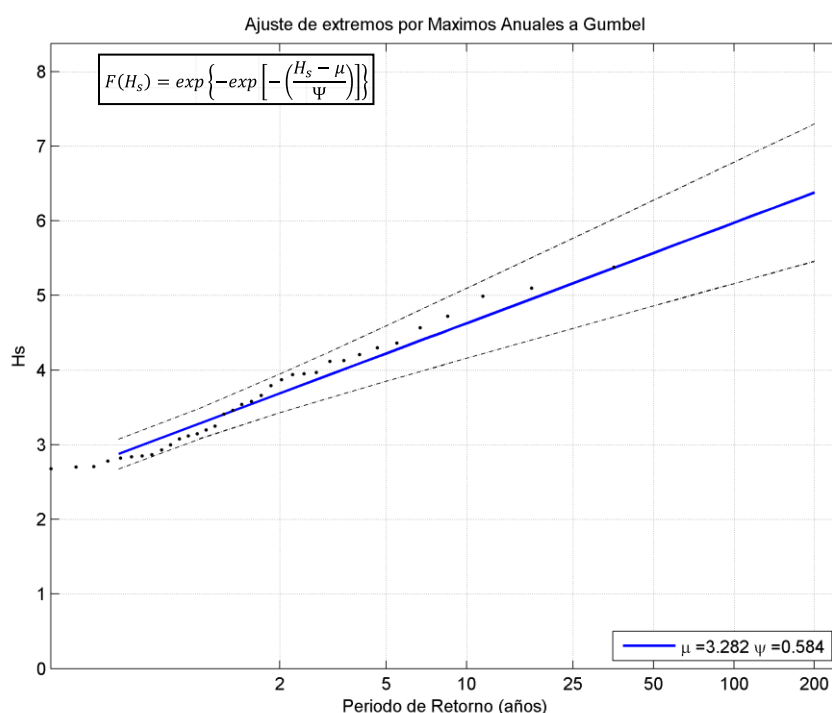


Figura 23.- Ajuste de extremos de H_s mediante la función de distribución de Gumbel

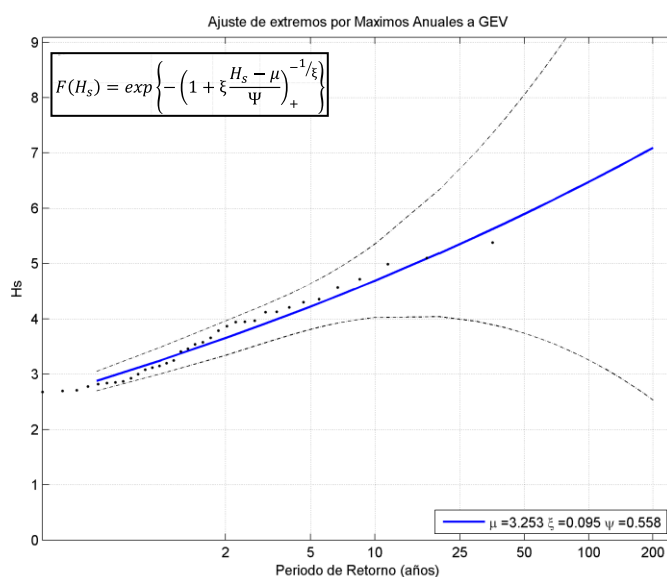


Figura 24.- Ajuste de extremos de H_s mediante la función de distribución GEV

Como resultado, la función biparamétrica Gumbel ofrece un mejor ajuste de la serie de datos de máximos anuales, a pesar de tener un parámetro menos que la función GEV.

4.2 Régimen extremal direccional

Las gráficas de ajuste, exclusivamente para los sectores del oleaje considerados determinantes (SSE-WNW), son las siguientes:

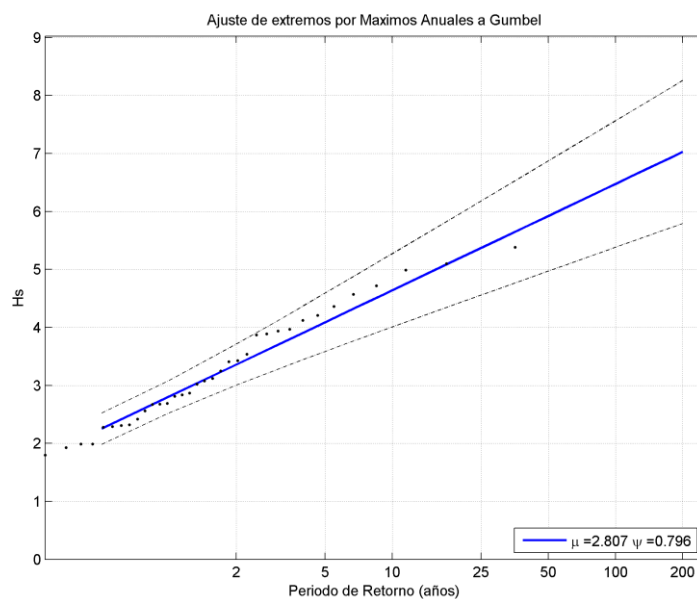


Figura 25.- Ajuste de extremos de H_s mediante la función de distribución de Gumbel a los sectores WNW a SSE

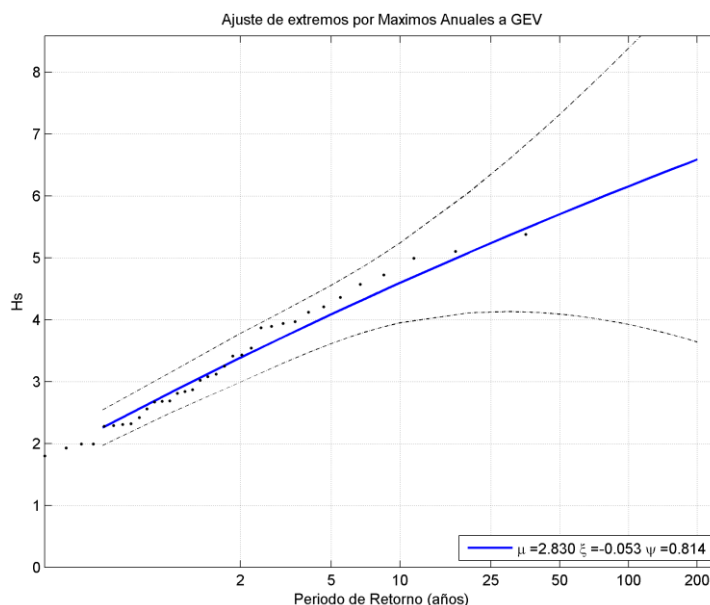


Figura 26.- Ajuste de extremos de Hs mediante la función de distribución GEV a los sectores WNW a SSE

4.3 Periodo de retorno de diseño

El periodo de retorno para la caracterización del oleaje extremal en aguas profundas, se determina en función de la vida útil y de la probabilidad de fallo para la que se diseñan las actuaciones, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$T_R = \frac{1}{1 - (1 - P_f)^{1/V_m}}$$

Donde:

- T_R : Período de retorno (años)
- V_m : Vida útil (años)
- P_f : Probabilidad de fallo frente a los modos de fallo

En el apartado 2.8 de la ROM 1.0 *Descripción de los agentes climáticos en las obras marítimas y bases para el diseño de los diques de abrigo* se recomiendan los valores de los índices de repercusión económica (IRE) y de repercusión social y ambiental (ISA) para los tipos de actuación posibles en áreas litorales.

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA			ÍNDICE IRE ⁷⁾		VIDA ÚTIL MÍNIMA (V _m) ⁷⁾ (años)
ÁREAS PORTUARIAS	PUERTO COMERCIAL	Puertos abiertos a todo tipo de tráfico	r ₃	Alto	50
		Puertos para tráfico especializado	r ₂ (r ₃) ¹⁾	Medio (alto) ¹⁾	25 (50) ¹⁾
	PUERTO PESQUERO		r ₂	Medio	25
	PUERTO NAUTICO-DEPORTIVO		r ₂	Medio	25
	INDUSTRIAL		r ₂ (r ₃) ¹⁾	Medio (Alto) ¹⁾	25 (50) ¹⁾
	MILITAR		r ₂ (r ₃) ²⁾	Medio (Alto) ²⁾	25 (50) ²⁾
	PROTECCIÓN DE RELLENOS O DE MARGENES		r ₂ a r ₃ ³⁾	Medio a Alto ³⁾	25 a 50 ³⁾
	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES ⁴⁾		r ₃	Alto	50
ÁREAS LITORALES	PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		r ₂ (r ₃) ⁵⁾	Medio (Alto) ⁵⁾	25 (50) ⁵⁾
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MARGENES		r ₁ (r ₃) ⁶⁾	Bajo (Alto) ⁵⁾	15 (50) ⁷⁾
	REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS		r ₁	Bajo	15

1) El índice IRE se elevará a r₁ cuando el tráfico esté asociado con el suministro energético o con materias primas minerales estratégicas y no se disponga de instalaciones alternativas adecuadas para su manipulación y/o almacenamiento.
2) El índice IRE se elevará a r₁ cuando la instalación militar se considere esencial para la defensa nacional.
3) En obras de protección de rellenos o de defensa de márgenes se tomará un índice IRE igual al señalado para el área portuaria en que se localiza.
4) Se entiende como dique de defensa ante grandes inundaciones, aquéllos que en caso de fallo podrían producir importantes inundaciones en el territorio.
5) El índice IRE se elevará a r₁ cuando la toma de agua o el punto de vertido esté asociado con el abastecimiento de agua para uso urbano o con la producción energética.
6) El índice IRE se elevará a r₂ cuando en su zona de afección se localicen edificaciones o instalaciones industriales.
7) Los índices inferiores a r₁ de la tabla se elevarán un grado por cada 30 ME de coste de inversión inicial de la obra de abrigo.

Tabla 4.- IRE y vida útil mínima en función del tipo de obra para áreas litorales.

ÁREAS PORTUARIAS

ÁREAS LITORALES

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA			ÍNDICE ISA		P _{conj}	P _{ind}
PUERTO COMERCIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique ¹⁾	Mercancías peligrosas ²⁾	s ₃	Alto	0.01	0.07
		Pasajeros y Mercancías no peligrosas	s ₂	Bajo	0.10	0.10
	Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique		s ₁	No significativo	0.20	0.20
PUERTO PESQUERO	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₂	Bajo	0.10	0.10
	Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₁	No significativo	0.20	0.20
PUERTO NAUTICO DEPORTIVO	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₂	Bajo	0.10	0.10
	Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₁	No significativo	0.20	0.20
PUERTO INDUSTRIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías adosadas al dique ¹⁾	Mercancías peligrosas ²⁾	s ₃	Alto	0.01	0.07
		Mercancías no peligrosas	s ₂	Bajo	0.10	0.10
	Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o adosadas al dique		s ₁	No significativo	0.20	0.20
PUERTO MILITAR	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique ¹⁾		s ₃	Alto	0.01	0.07
	Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₁	No significativo	0.20	0.20
PROTECCION DE RELLENOS O MARGENES	Con zona de almacenamiento adosada al dique ¹⁾	Mercancías peligrosas ²⁾	s ₃	Alto	0.01	0.07
		Mercancías no peligrosas	s ₂	Bajo	0.10	0.10
DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES ³⁾			s ₄	Muy Alto	0.0001	0.07
PROTECCION DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO			s ₂ (s ₃) ⁴⁾	Bajo (Alto) ⁴⁾	0.10 (0.001)	0.10 (0.07)
PROTECCION Y DEFENSA DE MARGENES			s ₂ (s ₄) ⁵⁾	Bajo (Muy alto) ⁵⁾	0.10 (0.0001)	0.10 (0.07)
REGENERACION Y DEFENSA DE PLAYAS			s ₁	No significativo	0.20	0.20

1) En el caso de que en la superficie adosada al dique esté previsto que se ubiquen edificaciones (p.e. estaciones marítimas, lonjas,...), depósitos o silos que pudieran resultar afectados en el caso de fallo de la obra de abrigo, se considerará un índice ISA muy alto (s₄) (p_{conj} < 0.0001; p_{ind} < 0.07).

2) Se considerarán mercancías peligrosas los grupos de sustancias prioritarias incluídas en el anexo X de la Directiva Marco del Agua (Decisión 2455/2001/CEE), en el inventario europeo de emisiones contaminantes (EPER: Decisión 2000/479/CE), y en el Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de Mercancías Peligrosas (Real Decreto 145/1989). (Ver ROM 5.1.)

3) Se entiende como diques de defensa ante grandes inundaciones, aquéllos que en caso de fallo se podrían producir importantes inundaciones en el territorio.

4) El índice ISA se elevará a s₁ cuando la toma de agua o el punto de vertido esté asociado con el abastecimiento de agua para uso urbano o industrial o con la producción energética.

5) El índice ISA se elevará a s₄ cuando en caso de fallo pudieran resultar afectadas edificaciones u otras instalaciones industriales.

Tabla 5.- ISA y probabilidad conjunta de fallo en función del tipo de obra para áreas litorales.

De acuerdo con los valores determinados en los puntos anteriores, se obtienen, de forma genérica, los posibles períodos de retorno para los tipos de actuaciones más comunes sobre la costa (Tabla 6.-).

TRAMO DE OBRA	VIDA ÚTIL	P _f	PERIODO DE RETORNO
PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO	25	0,10	238 años
PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES	15	0,10	143 años
REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS	15	0,20	68 años

Tabla 6.- Vida útil, probabilidad de fallo y periodo de retorno de actuaciones en la costa

A partir de los parámetros obtenidos de las funciones de distribución de mejor ajuste, se calculan las alturas de ola en régimen extremal asociadas a los distintos periodos de retorno de diseño, presentadas en la siguiente tabla:

Oleaje	Localización (x)	Escala (ψ)	H _{s,0} (m) T _R = 68 años	H _{s,0} (m) T _R = 143 años	H _{s,0} (m) T _R = 238 años
Escarlar	3.282	0.584	5.74	6.18	6.47
WNW-SSE	2.807	0.796	6.16	6.75	7.16

Tabla 7.- Alturas de ola en régimen extremal asociadas a periodos de retorno de diseño

La determinación de los periodos de pico asociados a los niveles de altura de ola de temporal se realiza mediante la relación que proporciona la Boya de Tenerife (2446) entre el periodo de pico y la altura de ola significativa, $T_p \approx 4.12 \cdot H_s^{0.60}$ dando como resultado:

Régimen extremal	T _R = 68 años		T _R = 143 años		T _R = 238 años	
	H _{s,0} (m)	T _{p,0} (s)	H _{s,0} (m)	T _{p,0} (s)	H _{s,0} (m)	T _{p,0} (s)
Escarlar	5.74	11.76	6.18	12.29	6.47	12.63
WNW-SSE	6.16	12.26	6.75	12.96	7.16	13.42

Tabla 8.- Oleaje extremal (H_s, T_p) asociado a los diferentes periodos de retorno de diseño

5 NIVELES DEL MAR

El nivel del mar se ha estimado a partir de la información del mareógrafo de Arinaga, por ser éste el que se encuentra a menor distancia de la zona de estudio. El mareógrafo se encuentra situado en el arranque del Muelle de Arinaga en el Puerto del mismo nombre (Isla de Gran Canaria) (Longitud: 15.40° W Latitud: 27.85° N). Este mareógrafo es relativamente reciente, con un inicio de medidas en 01-01-2004 hasta la actualidad.



Figura 27.- Localización del mareógrafo de Arinaga

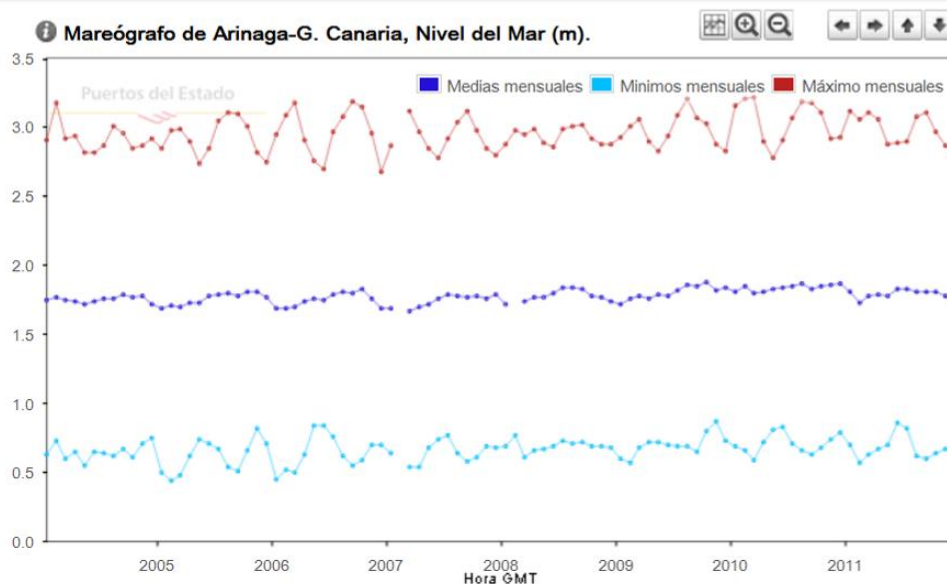


Figura 28.- Registros de máximos, mínimos y medias mensuales del nivel del mar en el mareógrafo de Arinaga

Puesto que la información topográfica y batimétrica procede de la Ecocartografía del litoral de la Zona sur de Gran Canaria realizada por UTE formada por las empresas INTECSA-INARSA, TECNOAMBIENTE y GEOMYTSA en el año 2000, el cero de referencia en los planos es el correspondiente al mareógrafo de Las Palmas (clavo de referencia NGU 340).

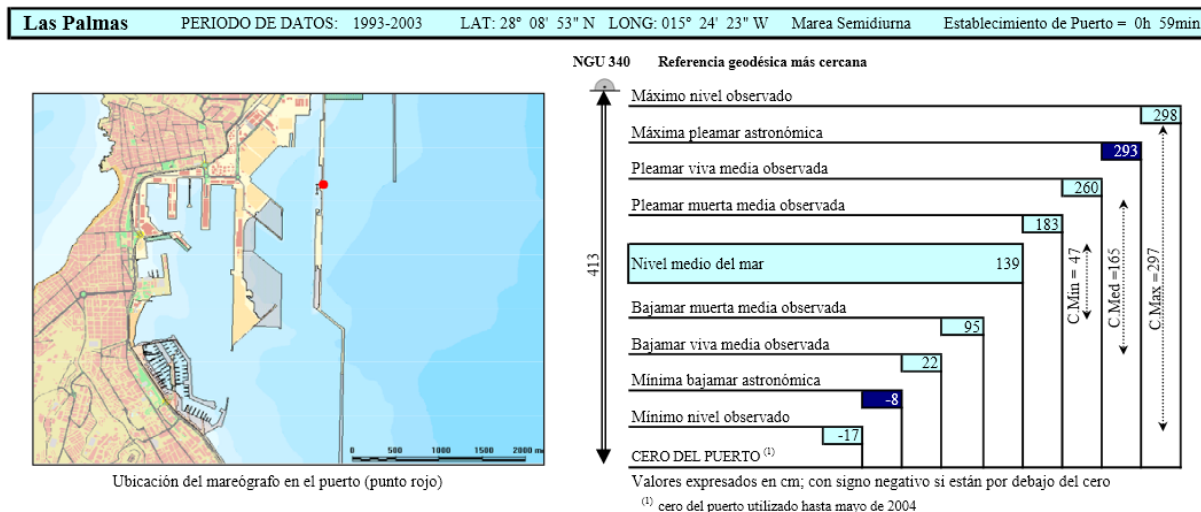


Figura 29.- Niveles de marea en el puerto de Las Palmas (NGU 340)

Los niveles medios máximos y mínimos de marea se han obtenido a partir de la generación de la serie de niveles del mar mediante los armónicos de marea obtenidos por Puertos del Estado sobre el periodo 2003-2011:

Armónicos de Marea calculados sobre el periodo 2003- 2011 / 2003- 2011 Harmonic Constituents															
Armónico/ Harmonic Id	Frecuencia/ Frequency (ciclos/hora)	Amplitud/ Amplitude (cm)	Fase/ Phase (°)	Armónico/ Harmonic Id	Frecuencia/ Frequency (ciclos/hora)	Amplitud/ Amplitude (cm)	Fase/ Phase (°)	Armónico/ Harmonic Id	Frecuencia/ Frequency (ciclos/hora)	Amplitud/ Amplitude (cm)	Fase/ Phase (°)	Armónico/ Harmonic Id	Frecuencia/ Frequency (ciclos/hora)	Amplitud/ Amplitude (cm)	Fase/ Phase (°)
Z0	0.000000	177.66	0.00	N2	0.078999	14.08	14.69	SN4	0.162332	0.05	152.83	MS4	0.163844	0.44	189.58
ALP1	0.034396	0.11	169.86	NU2	0.079201	2.57	18.49	M2	0.080511	68.08	28.18	MK4	0.164072	0.12	185.77
2Q1	0.035706	0.29	195.40	LDA2	0.081821	0.38	14.48	S4	0.166666	0.11	274.68	S4	0.166666	0.11	274.68
SIG1	0.035908	0.29	204.83	L2	0.082023	1.46	35.57	2MK5	0.202803	0.05	181.65	M6	0.241534	0.14	305.70
Q1	0.037218	1.52	240.43	T2	0.083219	1.37	50.39	M6	0.241534	0.14	305.70	2MS6	0.244356	0.20	18.74
RHO1	0.037420	0.25	247.29	S2	0.083333	26.64	50.60	2SM6	0.244356	0.20	18.74	2SM6	0.247178	0.05	105.67
O1	0.038730	4.76	292.33	K2	0.083561	7.48	46.67								
P1	0.041552	1.87	25.51	ETA2	0.085073	0.39	66.13								
S1	0.041666	0.39	230.39	M3	0.120767	0.45	157.98								
K1	0.041780	6.04	37.24	SK3	0.125114	0.12	250.23								
PHI1	0.042008	0.14	45.97	MN4	0.159510	0.27	68.24								
OQ2	0.075974	0.23	334.13	M4	0.161022	0.64	117.09								
EPS2	0.076177	0.62	324.07												
2N2	0.077487	2.03	0.56												
MU2	0.077689	2.75	349.00												

Tabla generada por Puertos del Estado /Generated by Puertos del Estado

Fecha actual/Today is 28 May 2014

Tabla 9.- Armónicos de marea del mareógrafo de Arinaga (Puertos del Estado)

El nivel del mar en Las Palmas se puede relacionar con el Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA) a partir de los datos incluidos en el informe de "NIVELES DE REFERENCIA DEL NIVEL DEL MAR" de la red REDMAR, de Puertos del Estado, que en su Anexo I: Tabla de ceros de la REDMAR, incluye la siguiente información:

	Clavo de Referencia	Cero REDMAR/año	NMMA/año	Cero Hidrográfico/año	Cero Puerto-NMMA
Las Palmas	NGU340	4,295	2,735 / 1998 2,745 / 2009	4,155 / 2008	1,560 / 1998 1,550 / 2009
Arinaga*	ZN20	5,550		5,150 / 2007	

Tabla 10.- Tabla de ceros de la REDMAR

Al generar la serie para una duración similar a la del registro de oleaje NOAA, se calcula la media de todos los máximos, mínimos y de la serie total generada, valores de la siguiente tabla. A partir de la información de la Tabla de ceros, se indican también los niveles con respecto al cero de Las Palmas (referencia de altimetría en los planos del presente Proyecto Básico) y con respecto al NMMA.

Nivel de Marea	Nivel (m) (cero de Arinaga)	Nivel (m) (cero de las Palmas)	Nivel (m) (NMMA)
Nivel Máximo	3,09	2,71	1,16
Promedio Máximos	2,49	2,11	0,56
Nivel Medio	1,77	1,39	-0,16
Promedio Mínimos	1,05	0,67	-0,88
Nivel Mínimo	0,57	0,19	-1,36

Tabla 11.- Niveles de marea medio máximo, medio mínimo y medio, según mareógrafo de Arinaga

6 CAMBIO CLIMÁTICO

A los valores obtenidos de niveles de marea hay que añadir la elevación del nivel del mar debido al cambio climático previsto en el año horizonte correspondiente a la vida útil de la actuación.

La estimación de la cota de elevación anual se ha determinado a través de la herramienta web visor C3E que forma parte del proyecto "Cambio Climático en la Costa de España", el C3E, promovido por el Ministerio y realizado por el IH Cantabria.

El año horizonte considerado partiendo de una vida útil de diseño de la actuación de 25 años es el año 2040.

El nodo de obtención de datos es el Punto 365 de coordenadas (-15,77°E; 27,78°N). En esta posición, el nivel medio del mar, MSL considerado como actual, correspondiente con el nivel medido partiendo de datos del año 2012, es de 3,289 cm.

La tasa de incremento anual del nivel del mar con base en la información histórica y tendencias observadas en el periodo 1948-2008, en el nodo frente a la zona de actuación es de 0,235 cm/año = 2,35 mm/año. Por lo tanto, el Nivel del mar (MSL, referido al MMMA) considerando el efecto del cambio climático en el año horizonte 2040 resulta de 9,867 cm.

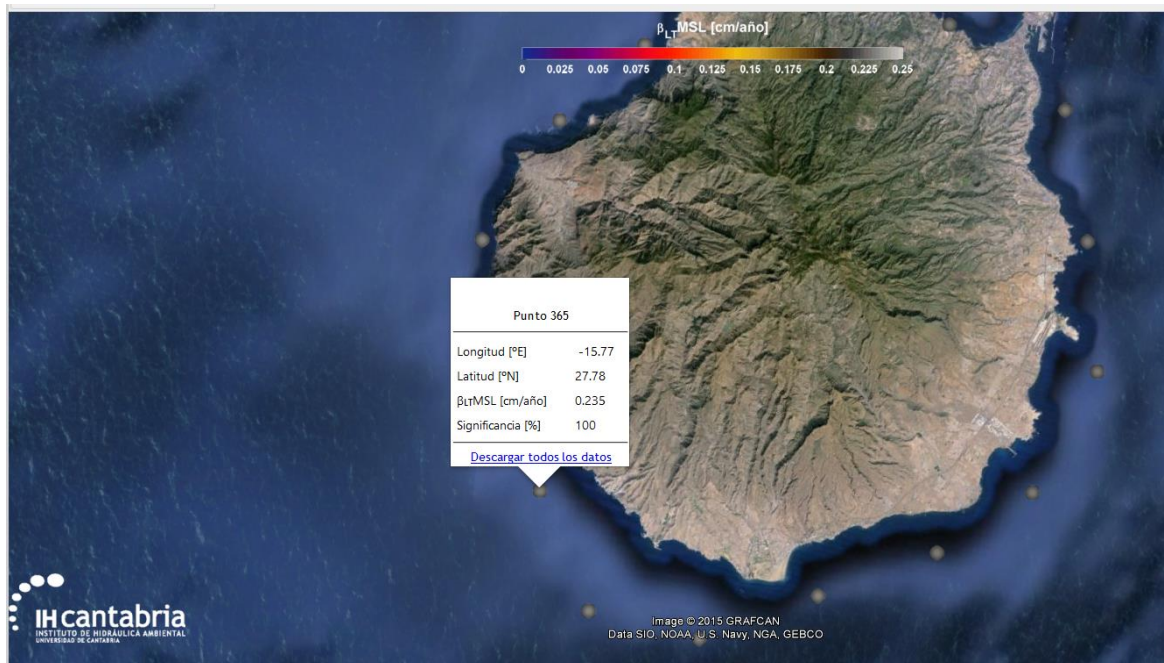


Figura 30.- Posición Del nodo 365 del visor C3E (proyecto “Cambio Climático en la Costa de España”)

Los niveles de marea a considerar por tanto, en la propagación del oleaje son los siguientes:

Nivel de marea	Estado actual (m)	Año horizonte (2040) (m)
Promedio Máximos	2,11	2,22
Nivel medio	1,39	1,52
Promedio Mínimos	0,67	0,77

Tabla 12.- Niveles de marea máximo, mínimo y medio, en la actualidad y en el año horizonte 2040

7 COTA DE INUNDACIÓN

De acuerdo con la información incluida en el visor C3E, la Cota de Inundación (CI) correspondiente al cuantil de periodo de retorno de 50 años, para una playa de pendiente media 1/50, es de 3.13m con respecto al Nivel Medio del Mar Local (NMML).

Por tanto, puesto que el nivel medio del mar con respecto al sistema de referencia empleado se encuentra a la cota +1,39m, la Cota de Inundación con periodo de retorno de 50 años es de 4,52m.

Se plantea por tanto la necesidad de disponer de una protección del borde litoral a la +5,00m que proteja el paseo en el trasdós de la playa que se encuentra en promedio a la cota +4,50m.

C3=XXI		Cambio Climático en la Costa Española		GOBIERNO DE ESPAÑA		MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE		oecc		IH cantabria	
Punto	365										
Longitud:	-15.77										
Latitud:	27.78										
				CAMBIOS ABSOLUTOS			CAMBIOS RELATIVOS (%)				
				Actual	2020	2030	2040	2020	2030	2040	
PLAYAS	Cota de Inundación, Playas pendiente 1/50 (m)	CI50	3.133	0.007	0.015	0.022	0.215	0.471	0.714		
		umbral	2.019	-	-	-	-	-	-		
		Media escala Pareto	0.19	0	0	0	0	0	0		
		Desv escala Pareto	0.009	0	0	0	0	0	0		
		Media Forma Pareto	-0.035	-	-	-	-	-	-		
		Desv Forma Pareto	0.032	-	-	-	-	-	-		
		Poisson Media	14.163	0.648	1.457	2.267	4.573	10.288	16.004		
		Poisson Desv	1.047	0.189	0.432	0.678	18.078	41.243	64.792		

Tabla 13.- Cota de Inundación según datos del visor C3E