ANEJO Nº6
Clima marítimo

ESTADO DE LOS TRABAJOS

Versión	Fecha	Modificaciones
A	03/04/2014	
B	31/07/2014	Versión Proyecto Básico

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 1

2 FUENTES DE DATOS 1

2.1 DATOS PROCEDENTES DE LA ROM 0.3-91 1

2.2 DATOS INSTRUMENTALES 3

2.2.1 CONJUNTO DE DATOS REDCOS 3

2.2.2 CONJUNTO DE DATOS REDMAR 4

2.3 DATOS NUMÉRICOS 6

2.3.1 DATOS NUMÉRICOS WANA 6

3 SELECCIÓN DE DATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA MARÍTIMO 2

4 CARACTERIZACIÓN MEDIA DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS 4

4.1 DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DEL OLEAJE 4

4.1.1 ALTURA DE OLA 4

4.1.2 PERIODO 5

4.2 RÉGIMEN MEDIO ESCALAR 6

5 CARACTERIZACIÓN EXTREMAL DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS 8

5.1 RÉGIMEN EXTREMAL ESCALAR 9

5.2 RÉGIMEN EXTREMAL DIRECCIONAL 10

5.3 PERIODOS DE RETORNO DE DISEÑO 14

6 RÉGIMEN DE VIENTOS 18

6.1 DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DEL VIENTO 18

6.2 RÉGIMEN MEDIO 18

6.3 RÉGIMEN EXTREMAL 19

7 NIVEL DEL MAR 20

7.1 INTRODUCCIÓN 20
7.2 RANGO DE MAREAS 22
7.3 REGÍMENES DE MAREA 23
7.3.1 Régimen medio del nivel del mar 23
7.3.2 Régimen extremal del nivel del mar 23

8 BIBLIOGRAFÍA 25

1 INTRODUCCIÓN

Para un correcto diseño del paseo marítimo a proyectar en el borde litoral de El Playazo, en términos de seguridad y estabilidad, éste habrá de definirse con miras a soslayar la inundación de la costa ante eventos de temporal.

Bajo esta premisa, el conocimiento de las características del oleaje susceptible de incidir en la costa objeto de estudio, y de las oscilaciones sufridas por el nivel del mar como consecuencia, tanto de la atracción gravitatoria del sistema tierra-luna-sol (marea astronómica), como de las condiciones climatológicas (marea meteorológica), son imprescindibles como información de partida para poder calcular la cota de inundación del frente litoral objeto de actuación (*Anejo 8.- Estudio de inundación costera*).

Además, como agente climático adicional, se procede a la caracterización del régimen de vientos en la zona.

Así, el presente Anejo tiene por objeto la identificación de las distintas fuentes de información oceanográfica disponibles, la selección, de entre ellas, de las más adecuadas para su empleo en el presente Proyecto, y la definición de los parámetros de diseño asociados al oleaje, el viento, y la marea.

2 FUENTES DE DATOS

2.1 DATOS PROCEDENTES DE LA ROM 0.3-91

La metodología de caracterización del oleaje en profundidades indefinidas que puede afectar al frente costero objeto del Proyecto parte de la información de Clima Marítimo de la *ROM 0.3-91 [1]*, que 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 queda enmarcada en el Área V (Figura 1).

ÁREA	CUADRÍCULA
I	43° N - 45° N 1,5° W - 7° W
II	43,2° N - 45° N 7° W - 11° W
III	41,5° N - 43,2° N 8° W - 11° W
IV	35° N - 37,1° N 5,6° W - 10° W
V	35° N - 37° N 2° W - 5,6° W
VI	35° N - 38° N 2° W - 2° E
VII	37,8° N - 40,5° N 1° W - 2° E
VIII	40,5° N - 42,5° N 0,0° W - 4,5° E
IX	38,3° N - 41° N 0,5° E - 5,5° E
X	26,5° N - 30,5° N 12° W - 20° W

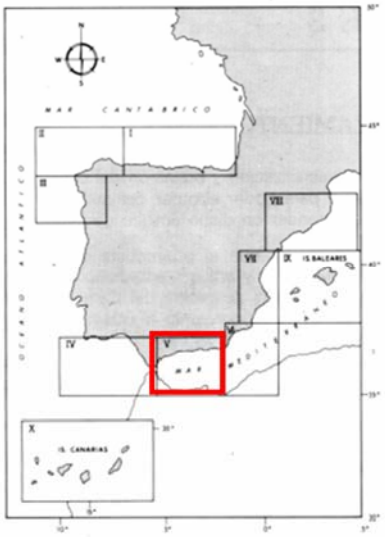


Figura 1. Zonificación en el Atlas de Clima Marítimo (ROM 0.3-91)

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.

El análisis de esta información se completa con la procedente del Banco de datos Oceanográficos del Ente Público Puertos del Estado tomada a partir de los datos instrumentales y numéricos disponibles para el Área V (Figura 2), que se resumen en el apartado siguiente.

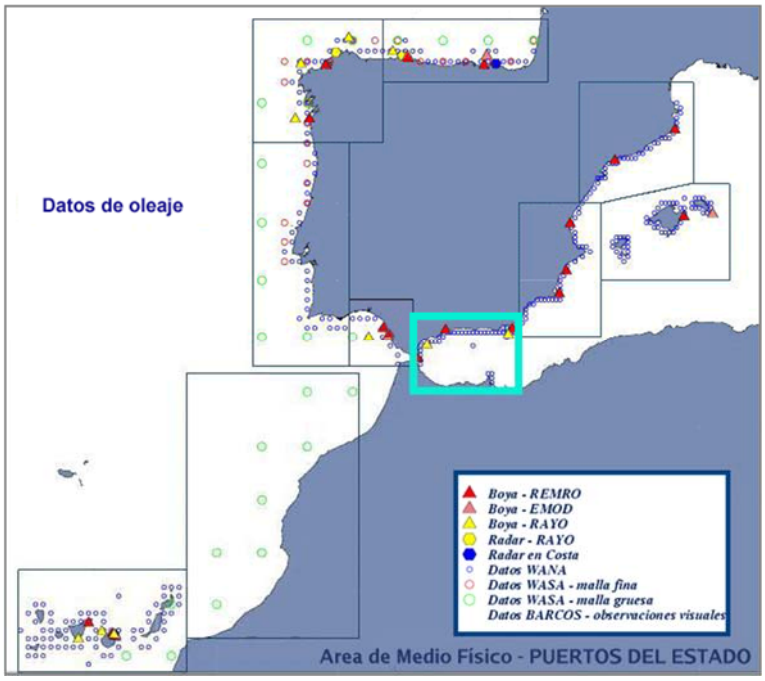


Figura 2. Datos Oceanográficos del Ente Público Puertos del Estado en las proximidades del área de estudio

2.2 DATOS INSTRUMENTALES

2.2.1 CONJUNTO DE DATOS REDCOS

El conjunto de datos REDCOS está formado por las medidas procedentes de la Red de Boyas Costeras de Puertos del Estado.

Las boyas de esta red se caracterizan por estar ubicadas en las proximidades de instalaciones portuarias, estando fondeadas a menos de 100 mde profundidad. En la mayoría de los casos, las medidas están perturbadas tanto por el perfil de la costa, como por los efectos del fondo sobre el oleaje, por lo que son representativas, únicamente, de condiciones locales. Esta red está compuesta por boyas escalares de tipo Waverider y boyas direccionales de tipo Triaxys.

- Boya de Málaga (1514)

Boya tipo Triaxys, fondeada en las coordenadas (4.42º W; 36.69º N), a 22 m de profundidad. El registro de datos, cuyo inicio data de noviembre de 1985, tiene una cadencia horaria y es de tipo direccional sólo desde abril de 2010, cuando se cambió el tipo de sensor.

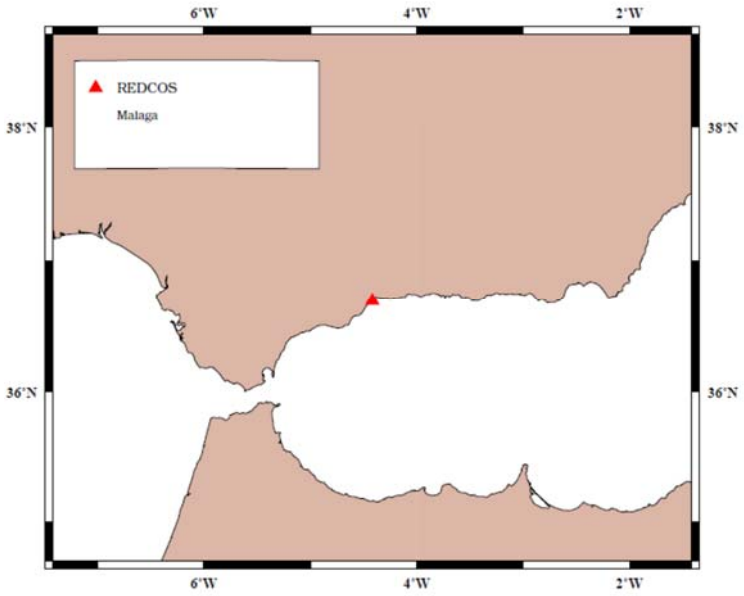


Figura 3. Ubicación de la Boya Costera de Málaga. Fuente: Puertos del Estado.

2.2.2 CONJUNTO DE DATOS REDMAR

Las fuentes de datos necesarias para establecer los regímenes de nivel de mar en la zona de estudio pertenecen a la Red de Mareógrafos REDMAR. A partir de ellos se caracteriza la magnitud de la marea astronómica (variación del nivel debida a la acción gravitatoria del Sol y la Luna, componente determinista) y de la marea meteorológica (variación del nivel debida a la acción de la presión y el viento, componente aleatoria).

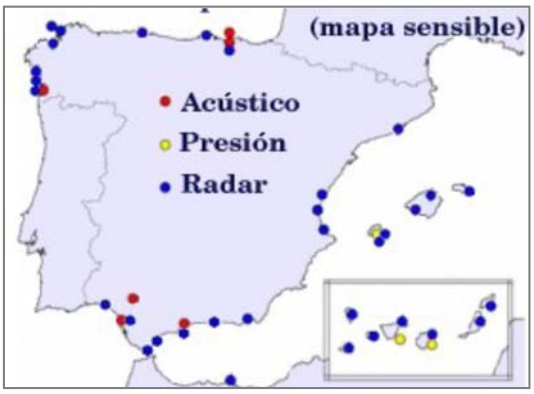


Figura 4. Posiciones de los mareógrafos de la REDMAR. Año 2010

Las cotas sobre el NMMA que utiliza Puertos del Estado fueron proporcionadas por el Instituto Geográfico Nacional (en adelante IGN), que realiza una nivelación de cada uno de los mareógrafos en el momento de su instalación.

- Mareógrafo de Málaga (3542)

Sensor tipo ultrasonidos modelo "Sonar R&D" situado en la Dársena de Embarcaciones Menores del Puerto de Málaga, en la coordenada 4.42º W, 36.71º N, con datos del nivel del mar con cadencia de 5 minutos desde julio de 1992 hasta abril de 2010. El cero del mareógrafo está situado a 1.244 m por debajo del clavo geodésico SSK-236 (ubicado frente a la puerta de la caseta). Las relaciones entre los datos de nivel del mar (NM) medidos por el mareógrafo y los ceros geodésico (IGN) e hidrográfico (H) de referencia son:

$$NM_{IGN} = NM_{mareógr.} - 0.415 \quad (1)$$

$$NM_{H} = NM_{mareógr.} - 0.068 \quad (2)$$

- Mareógrafo de Málaga (3546)

Sensor tipo radar modelo "Miros" situado junto a la baliza roja en el Muelle 67 Transversal de poniente del Puerto de Málaga, en la coordenada 4.42º W, 36.71º N, con datos del nivel del mar con cadencia de 1 minuto desde enero de 2009 hasta la actualidad. El cero del mareógrafo concuerda con el Cero del Puerto, a 3.333 m bajo Clavo de Referencia SP FARO (NGAB) emplazado sobre la esquina NW de la peana del faro situado junto al mareógrafo. Para referir los datos del mareógrafo al cero geodésico nacional:

$$NM_{IGN} = NM_{mareógr.} - 0.431 \quad (3)$$

Figura 5. Localización en planta de los mareógrafos del Puerto de Málaga.

2.3 DATOS NUMÉRICOS

2.3.1 DATOS NUMÉRICOS WANA

Formados por 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.

Los campos de oleaje han sido obtenidos a partir del modelo numérico WAM, que trabaja en el Mediterráneo con una resolución de 0.125 grados (15 km).

Las series de datos comienzan en 1996 y son actualizadas diariamente, con registros cada 3 horas.

Es importante tener en cuenta que, con independencia de la coordenada asignada a un nodo WANA, los datos de oleaje deben de interpretarse, siempre, como datos en aguas abiertas y profundidades indefinidas.

La figura siguiente muestra las posiciones de los nodos WANA almacenados en el Banco de Datos Oceanográficos.

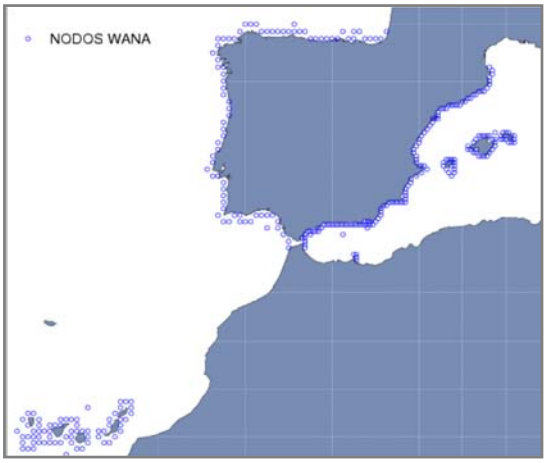


Figura 6. Nodos WANA para la región mediterránea.

Los nodos WANA ubicados frente al litoral nerjeño objeto de estudio son:

- Nodo WANA 2030078
- Nodo WANA 2031079
- Nodo WANA 2033079
- Nodo WANA 2034079
- Nodo WANA 2036079
- Nodo WANA 2038079
- Nodo WANA 2039079
- Nodo WANA 2040079

Figura 7. Nodos WANA frente al litoral en estudio.

3 SELECCIÓN DE DATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA MARÍTIMO

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

La información de clima marítimo contenida en la *ROM 0.3-91* resulta útil para un conocimiento genérico de éste en el área de actuación a nivel de pre-análisis, pero la antigüedad de sus datos, finalizando el registro en 1985, y la menor fiabilidad de los datos visuales respecto a los instrumentales o numéricos, lleva a descartar esta fuente como la más adecuada para el estudio del clima marítimo del presente Proyecto.

Las carencias de los datos registrados de forma visual, que son tomados por observadores entrenados desde barcos en ruta, residen en: estar restringidos a zonas de tránsito de barcos; estar poco repartidos en el tiempo (no son continuas); no tienen datos extremos, pues los barcos evitan los temporales; los datos tienen una gran subjetividad, pues en su apreciación influye mucho la experiencia del observador, su punto de observación, etc.

La ubicación de la boya de Málaga en aguas intermedias, implica que los valores registrados por ésta estén condicionados por la morfología local de los fondos frente al Puerto, de ahí que su registro no se considera representativo de las condiciones de oleaje reinantes en el área de actuación, pues la distancia existente hasta el frente litoral de El Playazo objeto de Proyecto es de unos 50 km.

Es así que los datos numéricos de la red WANA constituyen la fuente más idónea para la caracterización del clima marítimo de la zona de estudio y el régimen de vientos, y, dada su posición, de entre ellos, la serie correspondiente al nodo 2038079 con 17 años de datos de oleaje y viento direccionales (Figura 8, en verde).

Figura 8. Fuentes de datos barajadas para la caracterización del clima marítimo del litoral nerjeño. Se resalta en verde y negrita el nodo WANA escogido a tal fin.

En la siguiente figura se presentan las series de altura de ola significante y periodo de pico de dicho nodo, donde puede observarse como el oleaje en la zona alcanza los 5.5 m de altura y supera los 15 s en eventos de temporal.

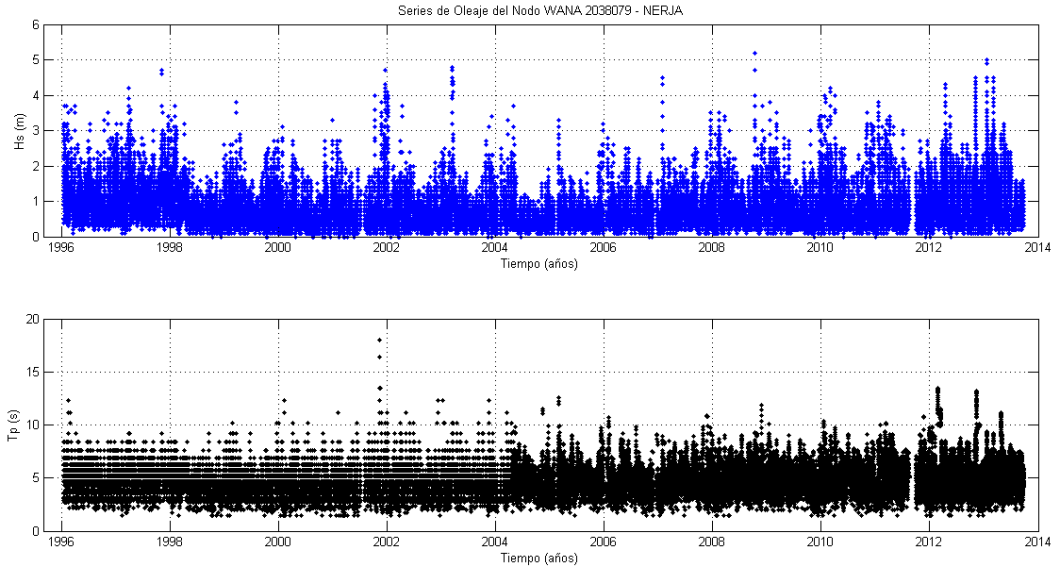


Figura 9. Series de H_s (sup.) y T_p (inf.) del nodo WANA 2038079.

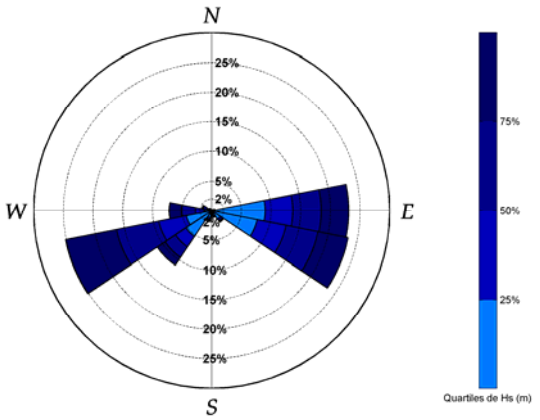
4 CARACTERIZACIÓN MEDIA DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS

4.1 DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DEL OLEAJE

4.1.1 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 objeto de estudio.

La Figura 10 representa la rosa exterior de oleaje de los datos WANA en el nodo 2038079, periodo 1996-2013, así como la información correspondiente a los estadísticos básicos de la variable altura de ola significante de este registro de datos, con la probabilidad de ocurrencia asociada a cada una de las direcciones de procedencia del oleaje.



Variable medida:Hs (m)

direcciones(º)	prob.direccion	Hs (m)$_{50\%}$	Hs (m)$_{90\%}$	Hs (m)$_{99\%}$	Hs (m)$_{12}$
N	0.0022	0.5000	1.0000	1.4180	1.5000
NNE	0.0021	0.6000	1.2000	1.7240	1.8000
NE	0.0025	0.4000	0.8000	1.1000	1.1000
ENE	0.0056	0.5000	0.9000	1.6000	2.2000
E	0.2305	0.6000	1.5000	2.9000	4.0000
ESE	0.2340	0.6000	1.5000	2.8000	4.1611
SE	0.0240	0.3000	0.7000	1.2330	1.5559
SSE	0.0119	0.3000	0.6000	1.1000	1.6619
S	0.0109	0.3000	0.8000	2.6090	3.7000
SSW	0.0184	0.3000	0.8000	2.0000	2.8066
SW	0.1103	0.5000	1.2000	2.5000	3.3599
WSW	0.2510	0.8000	1.7000	2.8000	3.6241
W	0.0717	0.8000	1.5000	2.2000	2.7000
WNW	0.0170	0.6000	1.1000	2.0000	2.6258
NW	0.0053	0.5000	0.9000	1.2000	1.7000
NNW	0.0025	0.5000	0.9000	1.1010	1.2000

Figura 10. Rosa de oleaje y estadísticos básicos de H_s de la serie WANA del nodo 2038079 (1996-2013).

Dada la configuración de la costa y la rosa de oleaje presentada en la Figura 10, los oleajes susceptibles de incidir en el borde litoral del Playazo son los provenientes del 2º y 3er cuadrante, rango direccional E-W (véase Figura 11) que reúne el 96% de los oleajes registrados en la serie WANA.

Figura 11. Sectores de oleaje relevantes para el área de actuación.

Destaca la dualidad direccional existente entre los oleajes de E-ESE y WSW, sectores más significativos por su mayor frecuencia de presentación e intensidad.

Para la variable direccional altura de ola significante, 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 0.6 m.

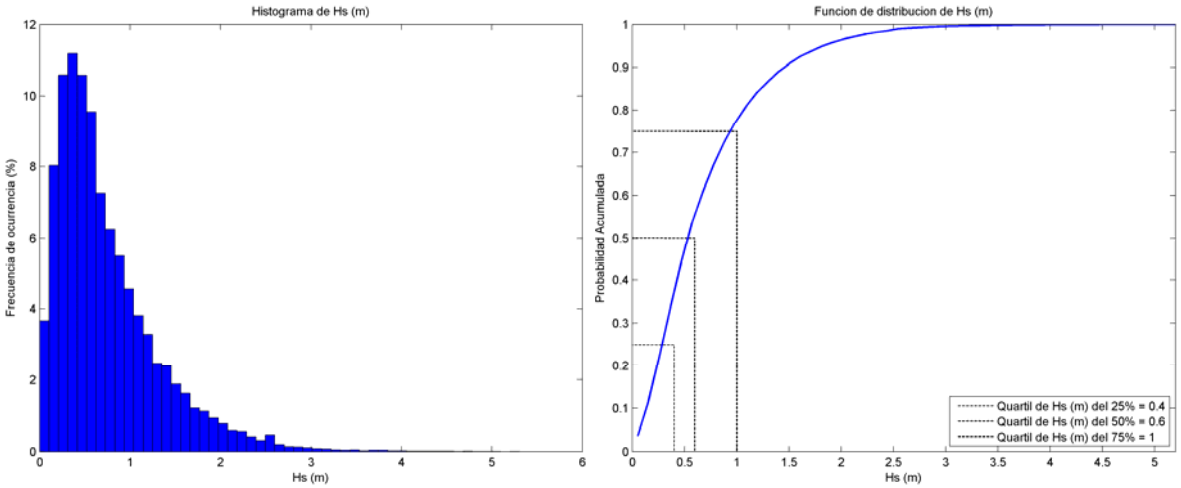
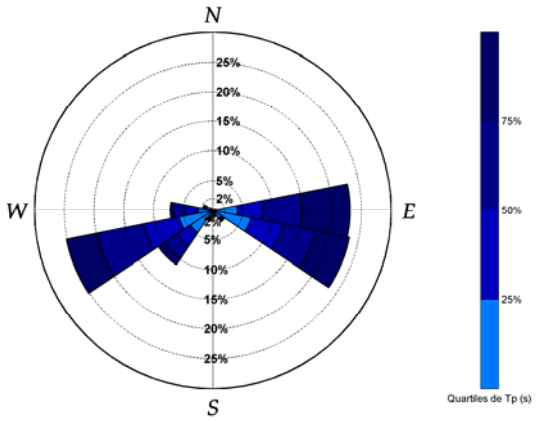


Figura 12. Histograma y función de distribución de la variable H_s de la serie WANA 2024075 calibrada.

4.1.2 PERIODO

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



Variable medida:Tp (s)

direcciones(º)	prob.direccion	Tp (s)$_{50\%}$	Tp (s)$_{90\%}$	Tp (s)$_{99\%}$	Tp (s)$_{12}$
N	0.0022	3.0000	4.2300	10.5780	12.3000
NNE	0.0021	3.6000	4.6900	9.4400	10.2000
NE	0.0025	2.9000	5.6000	11.1600	12.3000
ENE	0.0056	3.3000	6.3000	10.3800	13.5000
E	0.2305	5.3000	7.4000	10.2000	12.3000
ESE	0.2340	4.7000	6.9000	8.7000	11.2000
SE	0.0240	3.6000	5.6000	9.3330	12.4296
SSE	0.0119	3.5000	5.8000	10.2980	15.0652
S	0.0109	3.6000	6.3000	9.3810	16.2986
SSW	0.0184	3.6000	6.1000	8.5340	10.2082
SW	0.1103	4.3000	5.9000	7.6000	9.1599
WSW	0.2510	4.8000	6.3000	7.6000	8.5000
W	0.0717	4.4000	5.7000	6.9000	8.1000
WNW	0.0170	3.6000	4.7000	6.5450	10.2000
NW	0.0053	3.2000	3.9000	5.2700	7.6000
NNW	0.0025	3.1000	3.9000	7.6240	10.0000

Figura 13. Rosa del periodo de pico del oleaje y estadísticos básicos de la variable T_p de la serie WANA 2038079 (1996-2013).

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 4.7 s (Figura 14).

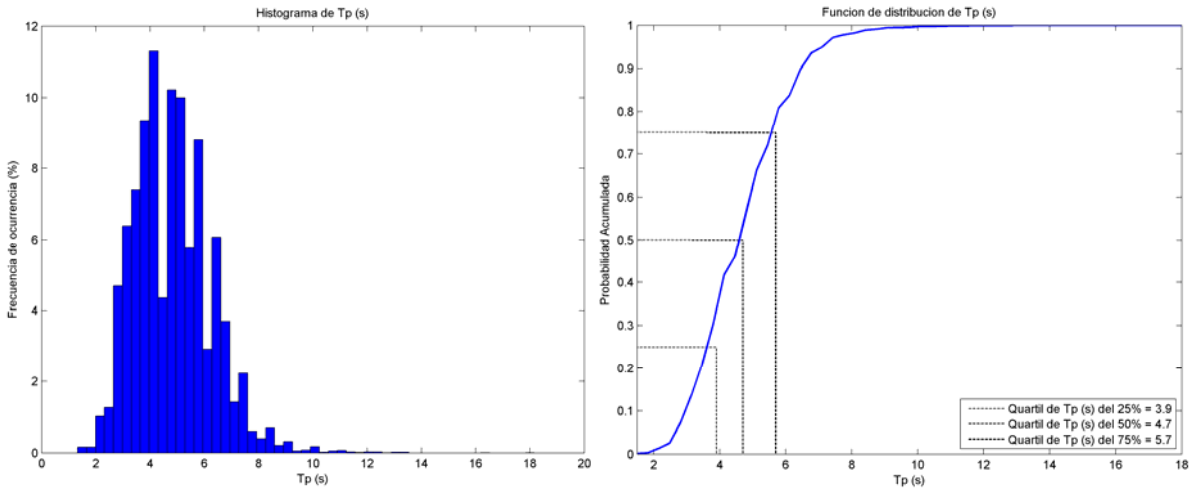


Figura 14. Histograma y función de distribución de T_p.

4.2 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, los valores de altura de ola significante de la serie de oleaje del área de estudio se distribuyen acordes a una función Gumbel de Máximos (Figura 15), tal que:

$$y = F(x) = \exp\left[-\exp\left(\frac{-(x-\lambda)}{\delta}\right)\right]; \; -\infty < x < \infty \qquad (4)$$

donde:

λ es el parámetro de localización (moda de la distribución)

δ es el parámetro de escala (proporcional a la desviación típica de la distribución, $\sigma^2=\pi^2\delta^2/6$)

El ajuste de la variable H_s mediante la función de distribución estadística Gumbel de máximos se considera adecuado, con un índice de correlación R^2=99.58%.

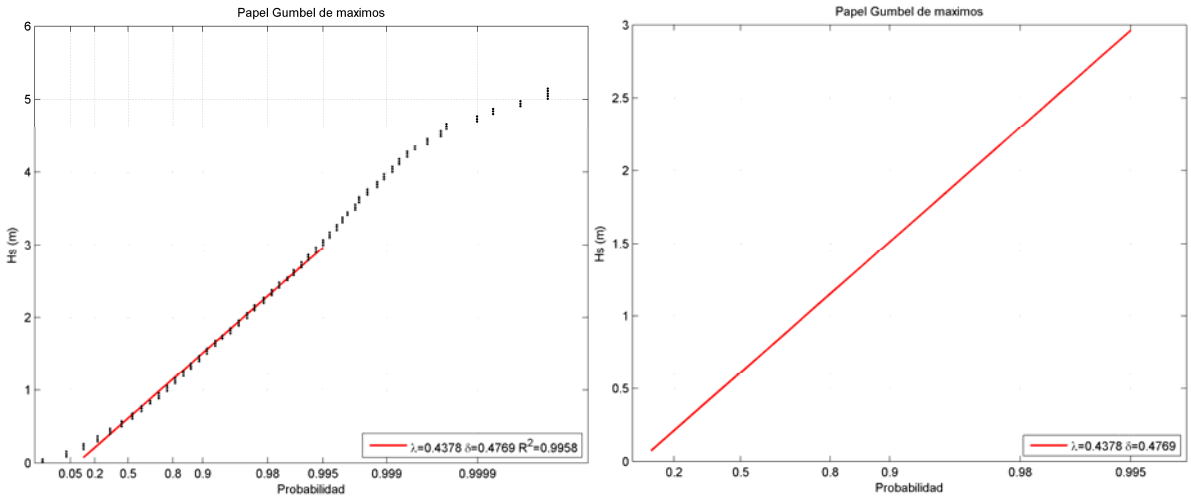


Figura 15. Régimen Medio de altura de ola significante (H_s). Ajuste mediante función de distribución Gumbel de máximos.

Mientras que los datos de periodo de pico del oleaje presentan un mayor ajuste a una distribución de tipo Log-Normal (5), con un índice de correlación del 99.67%. Ver Figura 16.

$$y = F(x) = \phi\left(\frac{\log(x)-\mu^*}{\sigma^*}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^*}\int_{-\infty}^{x}\frac{1}{x}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\log(x)-\mu^*}{\sigma^*}\right)\right]dx \quad -\infty < x < \infty \qquad (5)$$

donde:

Φ(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)

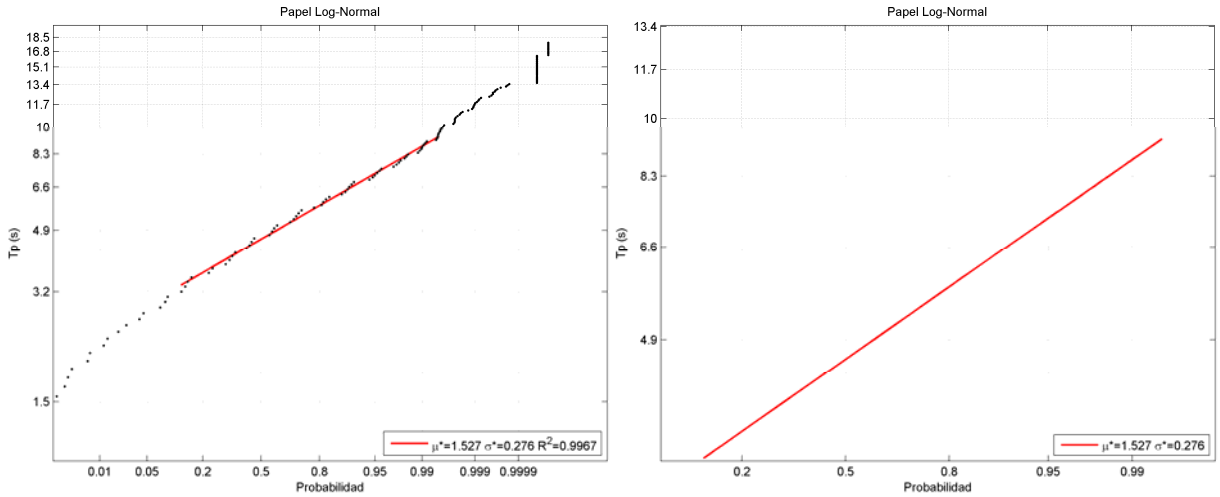


Figura 16. Régimen Medio de periodo de pico (T_p). Ajuste mediante función de distribución Log-normal.

5 CARACTERIZACIÓN EXTREMAL DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS

Para obtener el oleaje extremo en aguas profundas se ha analizado estadísticamente la serie de datos de 1996 a 2013 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.

5.1 RÉGIMEN EXTREMAL ESCALAR

En las Figura 17 y Figura 18 se muestran los ajustes obtenidos de la variable altura de ola significante máxima anual del registro escalar de datos a las funciones de distribución Gumbel de máximos y GEV, respectivamente.

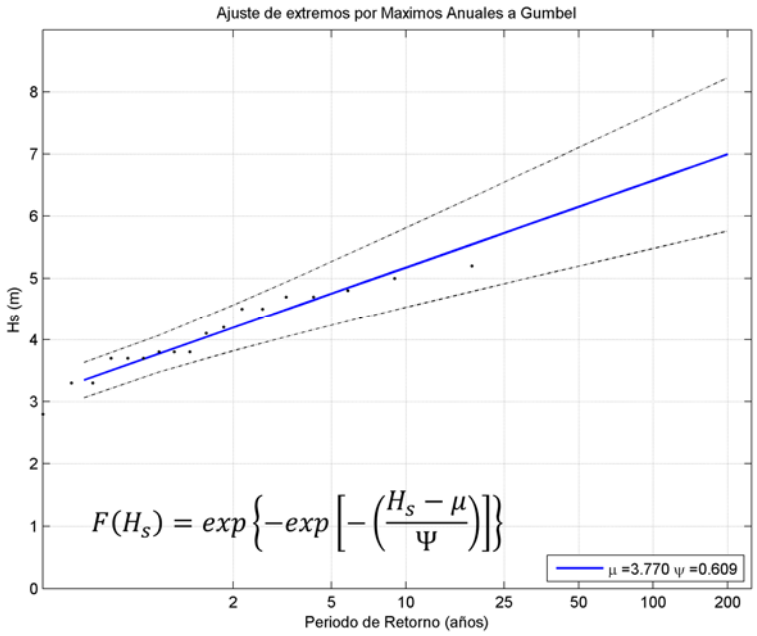


Figura 17. Ajuste de extremos de Hs mediante la función de distribución de Gumbel.

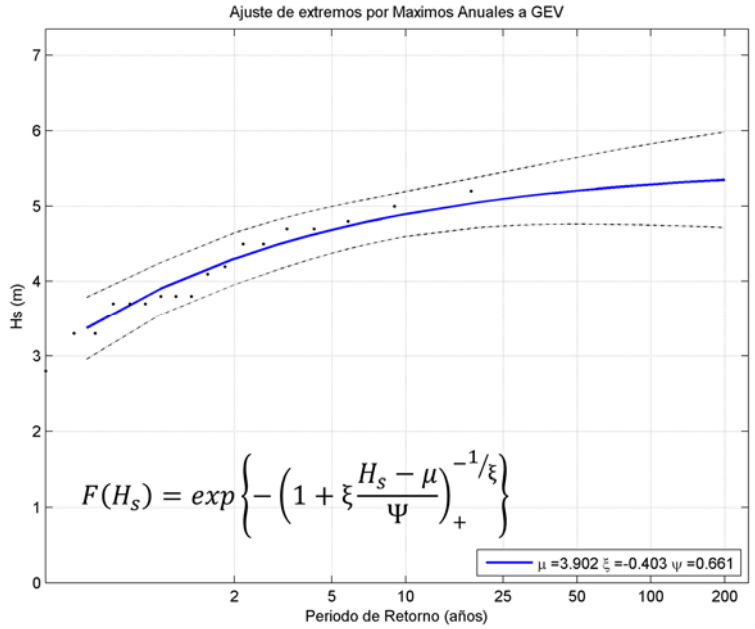


Figura 18. Ajuste de extremos de Hs mediante la función de distribución GEV.

Como resultado, la función triparamétrica GEV ofrece un mejor ajuste de la serie de datos, al incorporar un parámetro de forma que le aporta flexibilidad, permitiendo un mejor reflejo del comportamiento de los valores extremos.

5.2 RÉGIMEN EXTREMAL DIRECCIONAL

Las gráficas de ajuste direccional se presentan, para los sectores del oleaje considerados determinantes (E-W), en las figuras de la Figura 19 a la Figura 27.

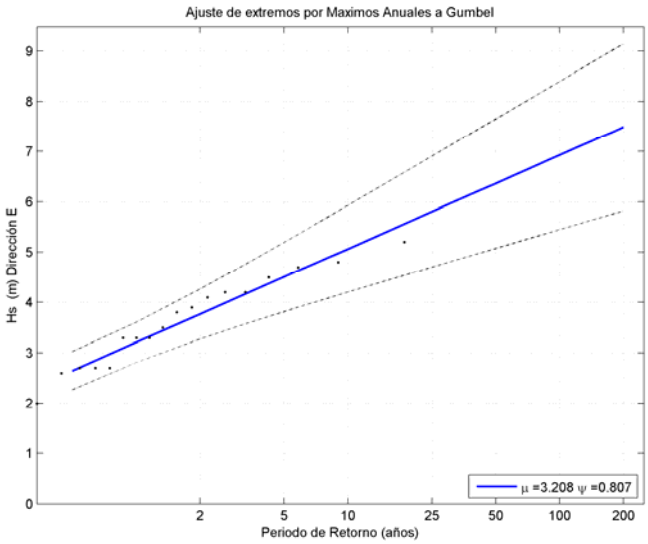


Figura 19. Ajuste de extremos distribución Gumbel de Máximos. Dirección E.

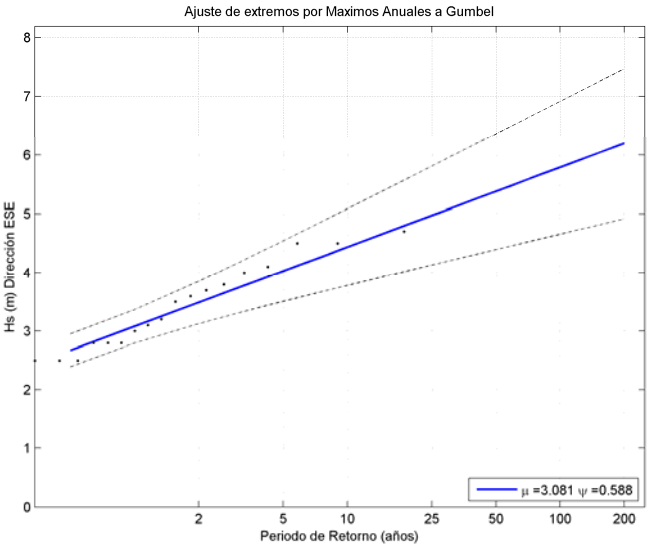


Figura 20. Ajuste de extremos distribución Gumbel de Máximos. Dirección ESE.

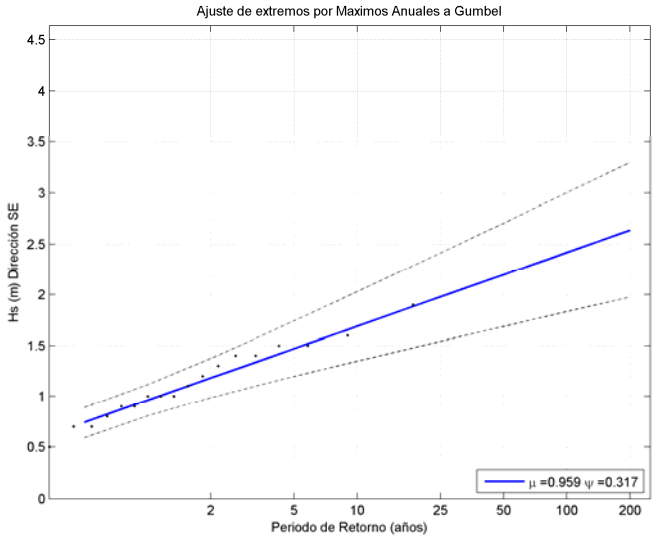


Figura 21. Ajuste de extremos distribución Gumbel de Máximos. Dirección SE.

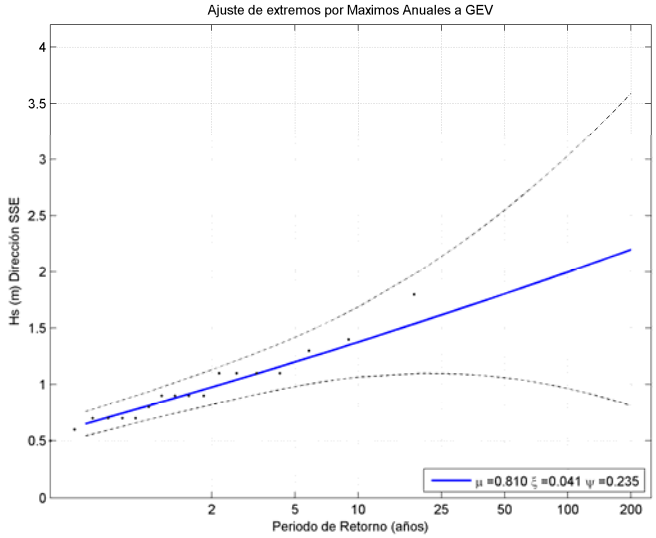


Figura 22. Ajuste de extremos distribución GEV. Dirección SSE.

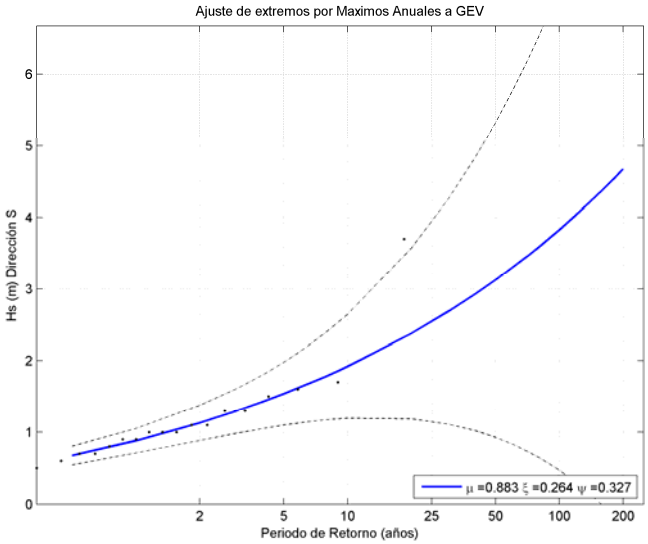


Figura 23. Ajuste de extremos distribución GEV. Dirección S.

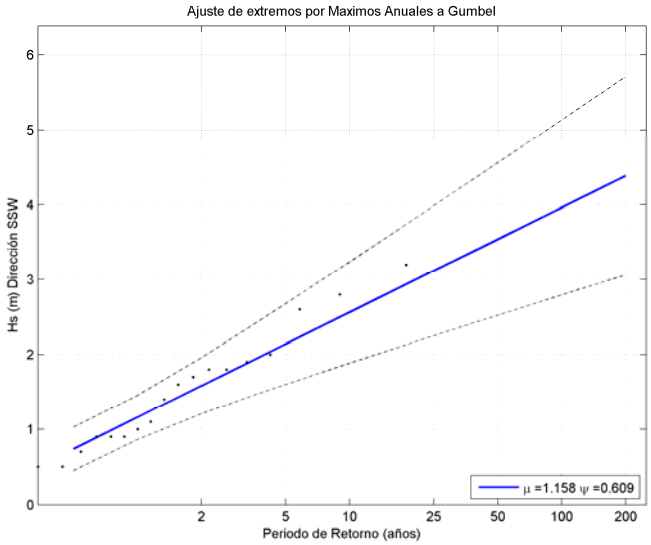


Figura 24. Ajuste de extremos distribución Gumbel de Máximos. Dirección SSW.

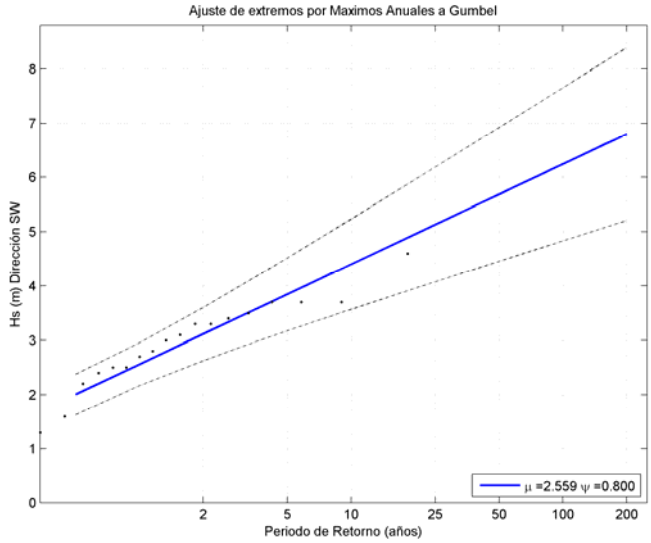


Figura 25. Ajuste de extremos distribución Gumbel de Máximos. Dirección SW.

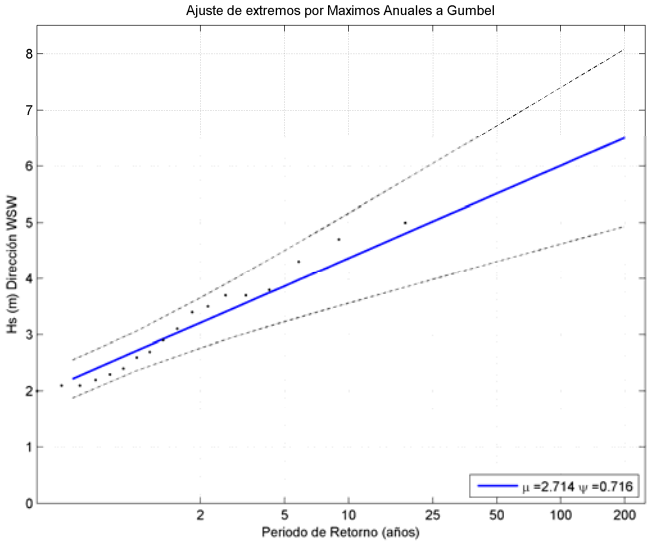


Figura 26. Ajuste de extremos distribución Gumbel de Máximos. Dirección WSW.

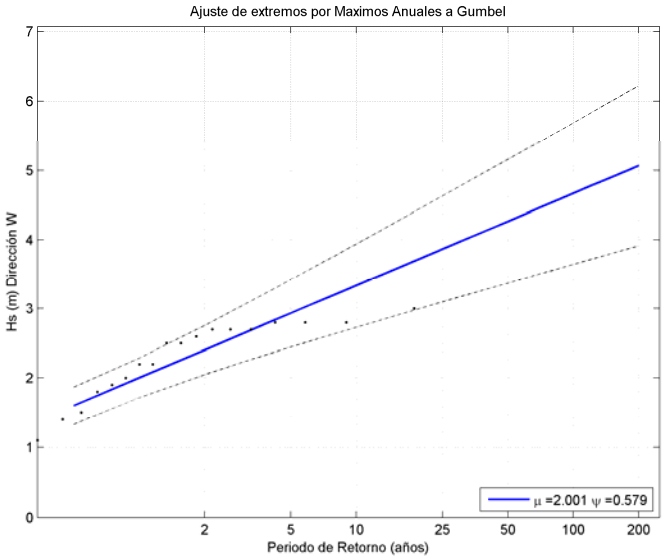


Figura 27. Ajuste de extremos distribución Gumbel de Máximos. Dirección W.

5.3 PERIODOS 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:

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

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 [2]* 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 AREA ABRIGADA O PROTEGIDA			INDICE IRE[7]		VIDA UTIL MINIMA (V_m)[7] (años)
AREAS PORTUARIAS	PUERTO COMERCIAL	Puertos abiertos a todo tipo de tráficos	r_3	Alto	50
		Puertos para tráficos especializados	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]
	PROTECCION DE RELLENOS O DE MARGENES		r_2 a r_3[3]	Medio a Alto[3]	25 a 50 [3]
AREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES[4]		r_3	Alto	50
	PROTECCION DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		r_2 (r_3)[5]	Medio (Alto)[5]	25 (50)[5]
	PROTECCION Y DEFENSA DE MARGENES		r_1 (r_3)[6]	Bajo (Alto)[5]	15 (50)[7]
	REGENERACION Y DEFENSA DE PLAYAS		r_1	Bajo	15

1) El índice IRE se elevará a r_3 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 r_3 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 r_3 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 r_2 cuando en su zona de afección se localicen edificaciones o instalaciones industriales.
7) Los índices inferiores a r_3 de la tabla se elevarán un grado por cada 30 M€ de coste de inversión inicial de la obra de abrigo

Figura 28. IRE y vida útil mínima en función del tipo de obra para áreas litorales.

	TIPO DE AREA ABRIGADA O PROTEGIDA			INDICE ISA		P_{ELU}	P_{FIS}
AREAS PORTUARIAS	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
AREAS LITORALES	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 (s_4) (P_{ELU}=0.0001; P_{ELE}=0.07)
2) Se considerarán mercancías peligrosas los grupos de sustancias prioritarias incluidas en el anejo 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 s_3 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 s_4 cuando en caso de fallo pudieran resultar afectadas edificaciones u otras instalaciones industriales.

Figura 29. 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 distintos tipos de actuaciones que podrían proyectarse (Tabla 1).

TRAMO DE OBRA	VIDA ÚTIL	Pf	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 1. Periodos de retorno para los distintos tramos de obra en áreas litorales.

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 (μ)	Escala (Ψ)	Forma (ξ)	$H_{s,0}$ (m) T_R =68 años	$H_{s,0}$ (m) T_R =143 años	$H_{s,0}$ (m) T_R =238 años
Escalar	3.902	0.661	-0.403	5.24	5.32	5.36
E	3.208	0.807	-	6.61	7.21	7.62
ESE	3.081	0.588	-	5.56	6.00	6.30
SE	0.959	0.317	-	2.29	2.53	2.69
SSE	0.81	0.235	0.041	1.89	2.10	2.25
S	0.883	0.327	0.264	3.41	4.23	4.89
SSW	1.158	0.609	-	3.72	4.18	4.49
SW	2.559	0.8	-	5.93	6.53	6.94
WSW	2.714	0.716	-	5.73	6.26	6.63
W	2.001	0.579	-	4.44	4.87	5.17

Tabla 2. Alturas de ola en régimen extremal asociadas a los periodos de retorno de diseño.

Para la determinación de los periodos de pico asociados a las alturas de ola de diseño en régimen extremal, se ha procedido al cálculo de la relación H_s-T_p existente para los datos del WANA 2038079 presentada en la Figura 30.

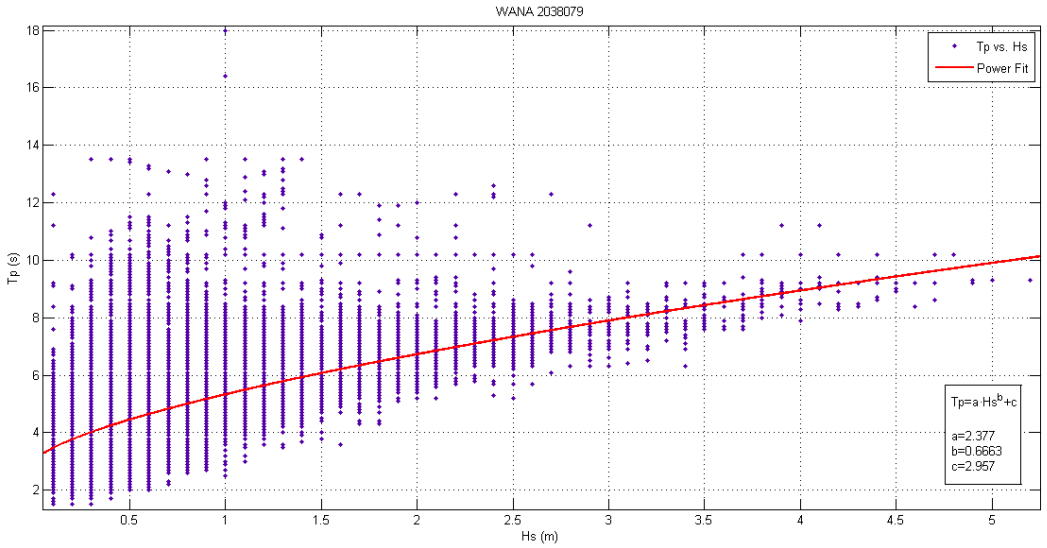


Figura 30. Relación H_s-T_p nodo WANA 2038079.

A partir de la cual los estados de mar asociados a los distintos periodos de retorno contemplados para el diseño, resultan:

Oleaje	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)
Escalar	5.24	10.13	5.32	10.20	5.36	10.23
E	6.61	11.32	7.21	11.82	7.62	12.16
ESE	5.56	10.41	6.00	10.80	6.30	11.06
SE	2.29	7.09	2.53	7.37	2.69	7.56

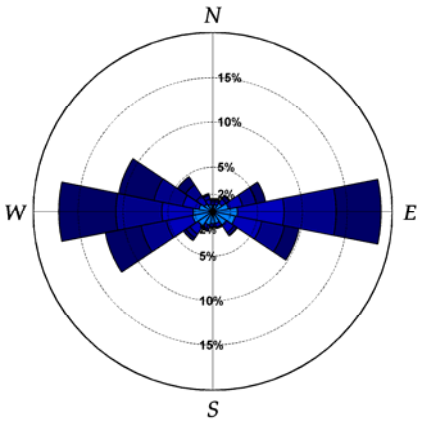
Oleaje	T_R = 68 años		T_R = 143 años		T_R = 238 años	
	$H_{s,0}$ (m)	$T_{p,0}$ (s)	$H_{s,0}$ (m)	$T_{p,0}$ (s)	$H_{s,0}$ (m)	$T_{p,0}$ (s)
SSE	1.89	6.59	2.10	6.86	2.25	7.04
S	3.41	8.34	4.23	9.17	4.89	9.80
SSW	3.72	8.66	4.18	9.12	4.49	9.42
SW	5.93	10.74	6.53	11.25	6.94	11.60
WSW	5.73	10.56	6.26	11.03	6.63	11.34
W	4.44	9.37	4.87	9.78	5.17	10.06

Tabla 3. Oleaje extremal (H_s, T_p) asociado a los diferentes periodos de retorno de diseño.

6 RÉGIMEN DE VIENTOS

6.1 DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DEL VIENTO

La representación de la rosa de vientos expuesta en la Figura 31 permite identificar la dualidad en la frecuencia de presentación de los vientos de E y W, sectores reinantes, destacando por su mayor intensidad las componentes E y WSW.



Variable medida:Vv

direcciones(°)	prob.direccion	$Vv_{50\%}$	$Vv_{90\%}$	$Vv_{99\%}$	Vv_{12}
N	0.0151	2.7000	6.5000	11.6180	13.8118
NNE	0.0156	2.4000	6.9000	12.3660	13.8000
NE	0.0232	2.7000	6.6000	10.4000	14.3008
ENE	0.0599	4.4000	9.4000	13.3000	16.7000
E	0.1873	5.6000	10.8000	15.1000	17.8000
ESE	0.0978	4.4000	9.0000	13.5000	15.8605
SE	0.0328	2.5000	5.6000	9.6150	11.1644
SSE	0.0194	1.9000	4.5000	9.2000	15.4356
S	0.0185	1.8000	4.3000	11.2000	15.6000
SSW	0.0228	2.0000	5.2000	10.6000	13.5467
SW	0.0392	2.8000	7.5000	13.0370	15.6663
WSW	0.1219	5.7000	11.5000	15.1000	18.3970
W	0.1713	6.7000	10.9000	14.1530	16.8000
WNW	0.1067	6.7000	11.1000	14.6000	16.8671
NW	0.0473	5.2000	9.6000	13.3240	15.1042
NNW	0.0211	3.4000	7.5000	10.2180	11.7400

Figura 31. Rosa de viento y estadísticos básicos de la velocidad del viento (Vv) de la serie WANA del nodo 2038079 (1996-2013).

6.2 RÉGIMEN MEDIO

Los datos de velocidad del viento del nodo WANA considerado presentan un buen ajuste (R^2=99.72%) a una función de distribución Normal (Figura 32).

$$y = F(x) = \phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}\int_{-\infty}^{x}\frac{1}{x}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]dx \quad -\infty < x < \infty \qquad (6)$$

donde:

Φ(z) es la distribución de la variable z normal estándar N(0,1)

μ es la media de la distribución normal (parámetro de localización)

σ es la desviación típica de la distribución normal (parámetro de escala)

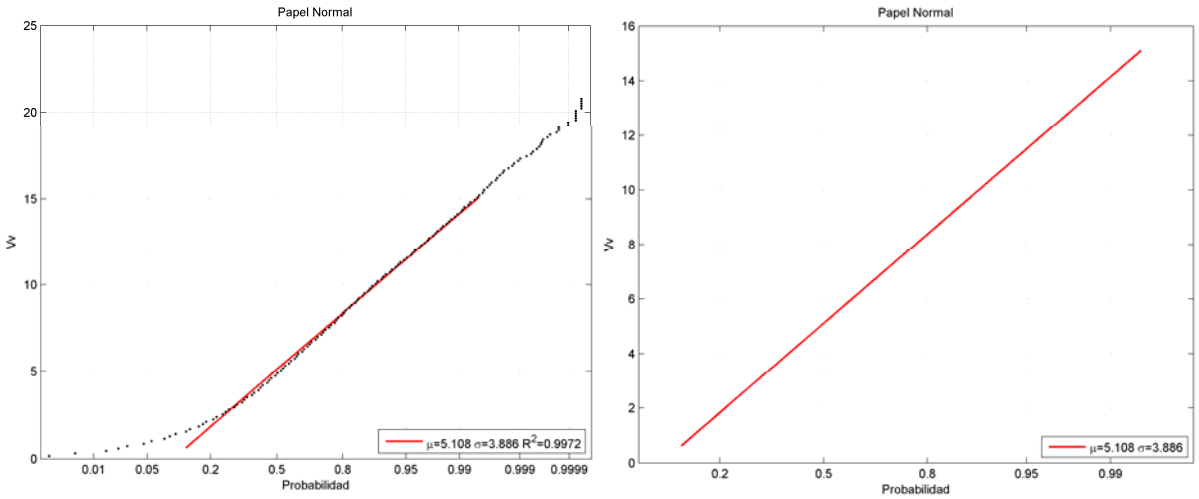


Figura 32. Régimen Medio de velocidad del viento, V_v (m/s). Ajuste mediante función de distribución Normal.

6.3 RÉGIMEN EXTREMAL

El ajuste de los valores máximos anuales del viento entre 1996 y 2013 mediante la función de distribución biparamétrica de mejor ajuste Gumbel de Máximos, así como sus parámetros de localización (μ) y escala (Ψ), se presentan en la Figura 33.

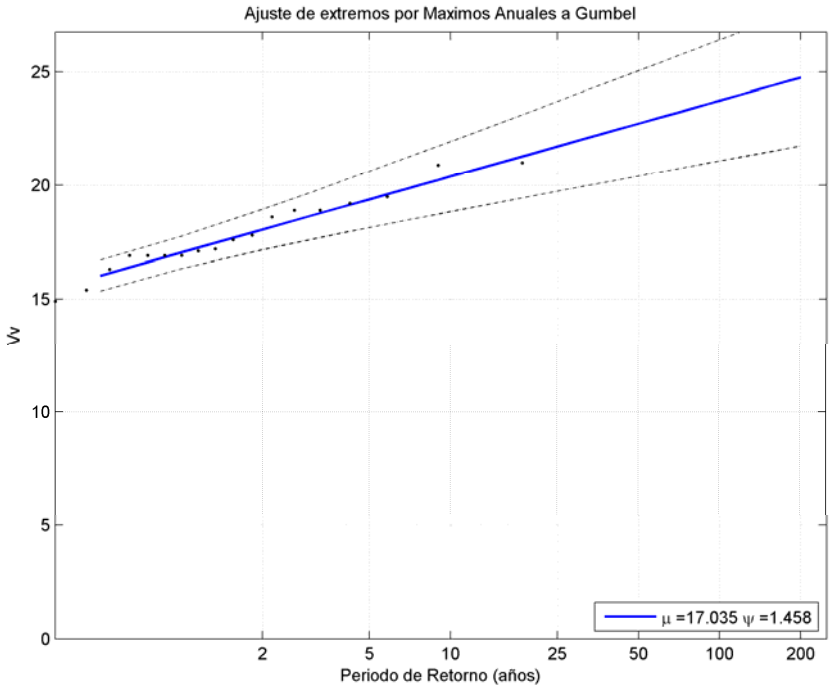


Figura 33. Ajuste de extremos de la velocidad del viento (m/s) mediante la función de distribución de Gumbel.

7 NIVEL DEL MAR

7.1 INTRODUCCIÓN

El nivel de marea, marea total o nivel del mar, S_{NM}, se obtiene como suma de las variables marea astronómica (S_{MA}), componente determinista de la marea resultante de la atracción gravitatoria del sistema tierra-luna-sol, y marea meteorológica (S_{MM}), componente aleatoria reflejo de las condiciones de presión atmosférica reinantes, tal que: $S_{MA}+S_{MM}=S_{NM}$.

Los niveles de marea de la zona litoral en estudio se establecen de forma teórica con base en los datos incluidos en el *ATLAS de Inundación en el Litoral Peninsular Español [3]*. En éste, el área de actuación se ubica dentro del Área V, Subzona "b" (Figura 34).

Su información, procedente del mareógrafo de Málaga de la red REDMAR (descrito en el Apartado 2.2), ha sido completada con los informes emitidos para este mareógrafo por el Ente Público Puertos del Estado al que pertenece, que consideran un mayor periodo de registro.

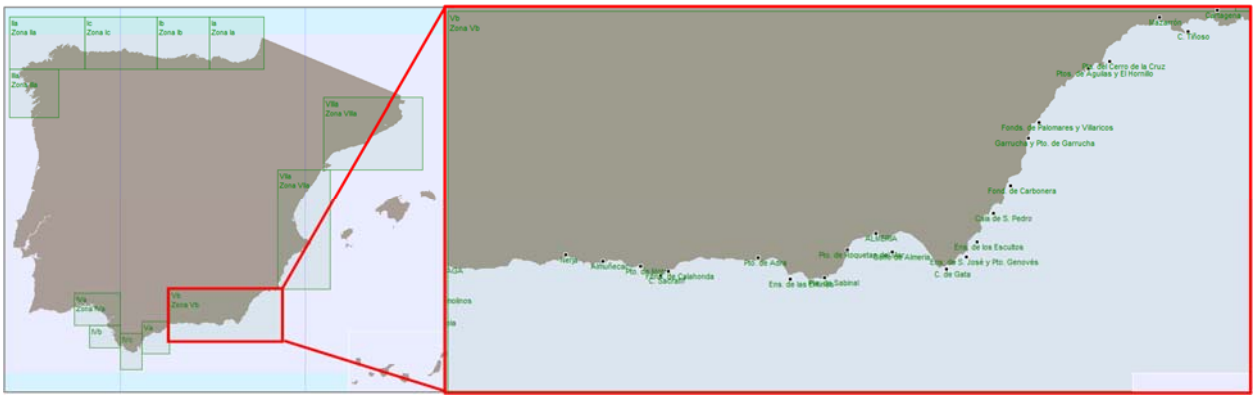


Figura 34. Distribución de Áreas en el mapa del ATLAS (Detalle Área Vb)

La Figura 35 señala la posición relativa de las distintas referencias del sistema de coordenadas altimétricas para el caso del mareógrafo de Málaga.

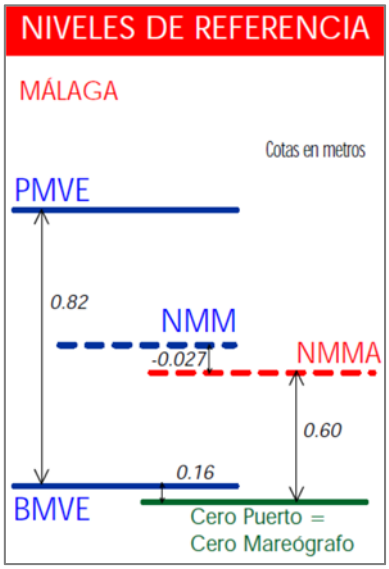


Figura 35. Niveles de referencia altimétrica en Málaga (cotas en metros).

Como valores representativos de las medias de pleamares y bajamares vivas equinocciales (marea astronómica) en la zona correspondiente al Área Vb, el nivel de pleamar se encuentra a la cota +0.437 m y el de bajamar a la -0.383 m respecto el NMMA, siendo por tanto, la carrera de marea astronómica de 0.82 m.

En los siguientes apartados se establecen los niveles de marea, para cada régimen de oleaje considerado. Todos los resultados de nivel del mar se han referenciado al nivel medio del mar en Alicante (NMMA).

7.2 RANGO DE MAREAS

El gráfico presentado a continuación (Figura 36) recoge los niveles del mar representativos de las oscilaciones de éste calculados por Puertos del Estado para el mareógrafo de Málaga.

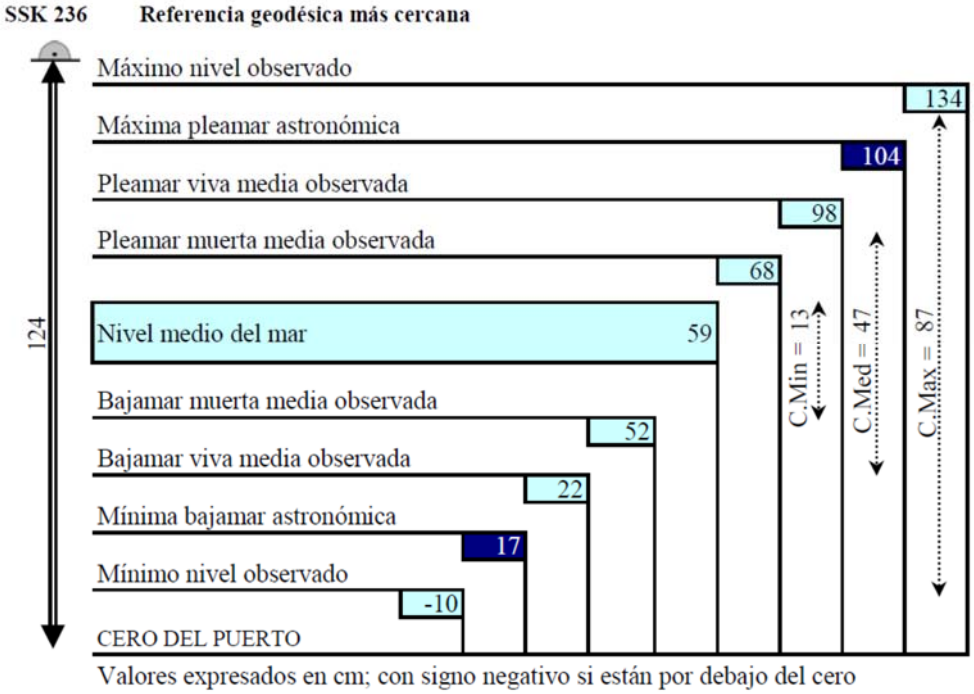


Figura 36. Niveles significativos del comportamiento del nivel del mar (referidos al Cero del Mareógrafo o Cero del Puerto). Mareógrafo de Málaga. [4]

Trasladando los datos al NMMA y expresándolos en metros, se tiene:

Niveles	Marea Astronómica, S_{MA} (m)			Marea Total, $S_{NM}=S_{MA}+S_{MM}$ (m)		
	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.
Pleamar Viva	0.625	0.375	0.485	0.925	0.355	0.565
Pleamar	0.625	0.185	0.395	0.925	0.185	0.425
Pleamar Muerta	0.395	0.185	0.275	0.465	0.185	0.265
Bajamar Muerta	0.185	-0.075	0.105	0.175	-0.075	0.105
Bajamar	0.185	-0.245	-0.025	0.175	-0.515	-0.055
Bajamar Viva	-0.005	-0.245	-0.125	0.045	-0.505	-0.195

Tabla 4. Niveles característicos de la marea en Málaga, referidos al NMMA.

Según éste, la máxima carrera astronómica en el litoral malagueño es de 0.87 m, y la máxima oscilación total, de 0.88 en situación de borrasca y 0.86 en anticiclón.

Atendiendo a este rango de mareas vivas, la costa objeto de estudio puede clasificarse como de tipo micromareal, por tratarse de carreras de marea menores a 2 m.

7.3 REGÍMENES DE MAREA

7.3.1 Régimen medio del nivel del mar

La elevación del nivel del mar, S_{nm}, que se supera 12 horas/año es 0.49 m, respecto del NMMA, con un rango de marea de 0.93 m (Figura 37).

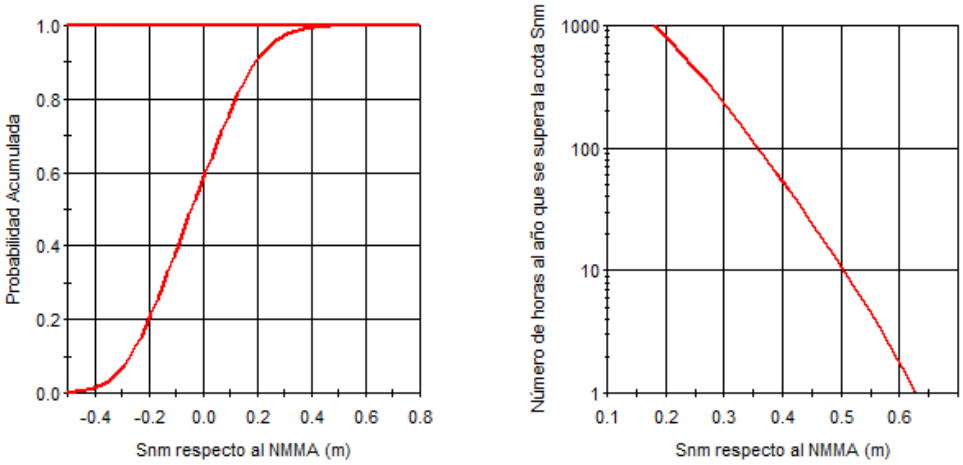


Figura 37. Régimen medio de marea para el Área Vb del ATLAS

7.3.2 Régimen extremal del nivel del mar

La elevación del nivel del mar, asociada a los oleajes extremales, para los posibles periodos de retorno de diseño, según el Atlas, se recoge en la Tabla 5.

T_R (años)	S_{NM} (m)		Carrera de marea (m)	
	Estima Central	Banda 90%	Estima Central	Banda 90%
68	0.79	0.76 – 0.82	1.23	1.2 – 1.26
143	0.81	0.78 – 0.85	1.25	1.22 – 1.29
238	0.84	0.78 – 0.89	1.28	1.22 – 1.33

Tabla 5. Niveles extremales de marea referidos al NMMA.

Los resultados se presentan en papel probabilístico Gumbel de máximos y en la doble escala de probabilidad acumulada y periodo de retorno (Figura 38).

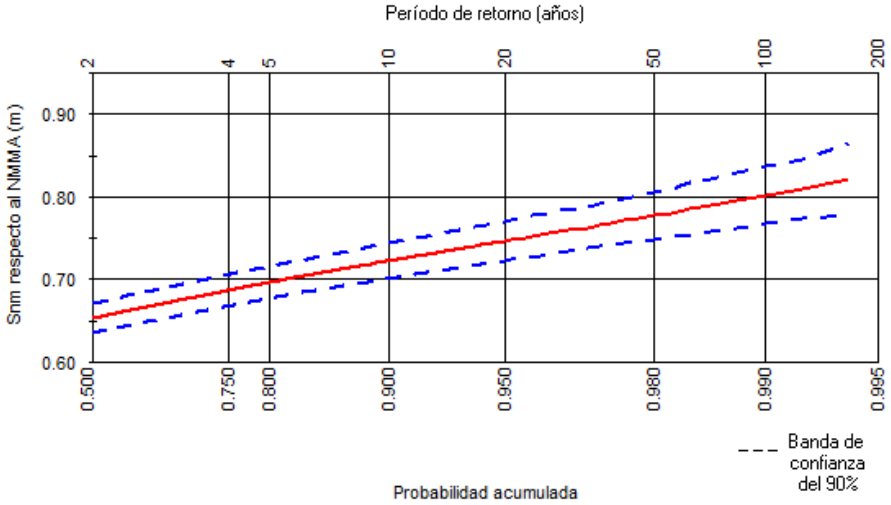


Figura 38. Régimen extremal de marea en el Área Vb del ATLAS.

Por otra parte, se calculan los niveles del mar asociados a los periodos de retorno de diseño (Tabla 6) para las máximas pleamares registradas por el mareógrafo de Málaga desde 1992 a 2005, mediante su ajuste a una función de distribución Weibull (ver Figura 39).

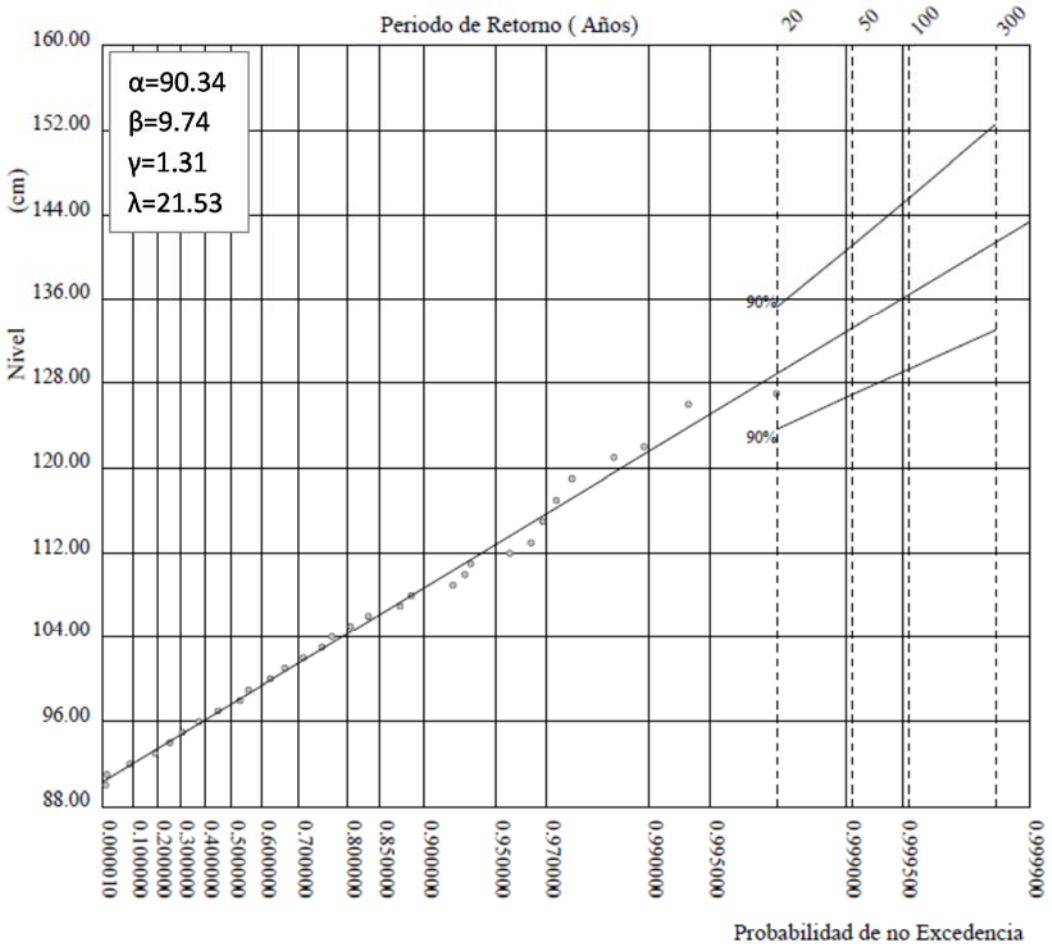


Figura 39. Régimen extremal del nivel del mar (pleamares máximas observadas). Mareógrafo del Puerto de Málaga. Niveles referidos al Cero del Puerto o Cero del Mareógrafo. [5]

T_R (años)	Máximas pleamares (S_{MA}+S_{MM})						
	α	β	γ	λ	NM (cm)	NM (m)	NM (m) ref. NMMA
68	90.34	9.74	1.31	21.53	134.71	1.35	0.932
143	90.34	9.74	1.31	21.53	138.12	1.38	0.966
238	90.34	9.74	1.31	21.53	140.42	1.40	0.989

Tabla 6. Máximas pleamares asociadas a los periodos de retorno de diseño.

8 BIBLIOGRAFÍA

[1] DIRECCIÓN GENERAL DE PUERTOS, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES. Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM) 0.3-91 "Recomendación para Oleaje y Atlas de Clima Marítimo en el Litoral español."

[2] PUERTOS DEL ESTADO, MINISTERIO DE FOMENTO. Mayo de 2009. Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM) 1.0 "Descripción de los agentes climáticos en las obras marítimas y bases para el diseño de los diques de abrigo."

[3] GRUPO DE INGENIERÍA OCEANOGRÁFICA Y DE COSTAS DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. DIRECCIÓN GENERAL DE COSTAS, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. 2007. "Documento temático: Atlas de inundación del litoral peninsular español."

[4] ÁREA DE MEDIO FÍSICO Y TECNOLOGÍA DE LAS INFRAESTRUCTURAS, DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO PORTUARIO, PUERTOS DEL ESTADO, MINISTERIO DE FOMENTO. Febrero 2005. "Red de mareógrafos de puertos (REDMAR). Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria".

[5] BANCO DE DATOS DE PUERTOS DEL ESTADO, MINISTERIO DE FOMENTO. "Extremos máximos de Nivel del Mar (nivel medio horario). Mareógrafo de Málaga".

[6] ÁREA DE MEDIO FÍSICO Y TECNOLOGÍA DE LAS INFRAESTRUCTURAS, DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO PORTUARIO, PUERTOS DEL ESTADO, MINISTERIO DE FOMENTO. Febrero 2005. "Red de mareógrafos de puertos (REDMAR). Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria".