

ANEXO 2: CLIMA MARÍTIMO.

ANEXO 2: CLIMA MARÍTIMO.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	33
METODOLOGÍA ROM 0.0-0.1.....	34
RÉGIMEN EXTREMAL	38
RÉGIMEN MEDIO	40
NIVEL DEL MAR	41
RESUMEN DE LOS RESULTADOS.....	43
APENDICE 1: DATOS MARUCA Y ATLAS.....	44

1. INTRODUCCIÓN

La caracterización del oleaje se ha realizado a partir de la información proporcionada por la aplicación MARUCA (Caracterización Climática del Medio Físico Marino Español para la Optimización de la Explotación Portuaria y Navegación Marítima) desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria y la Universidad de Cantabria. Utilizando los datos del puerto de Barcelona referente a boya de Barcelona II, puesto que ya se encuentra dicho dique caracterizado con varios puntos de control a pie de dique como podemos ver en el siguiente esquema:

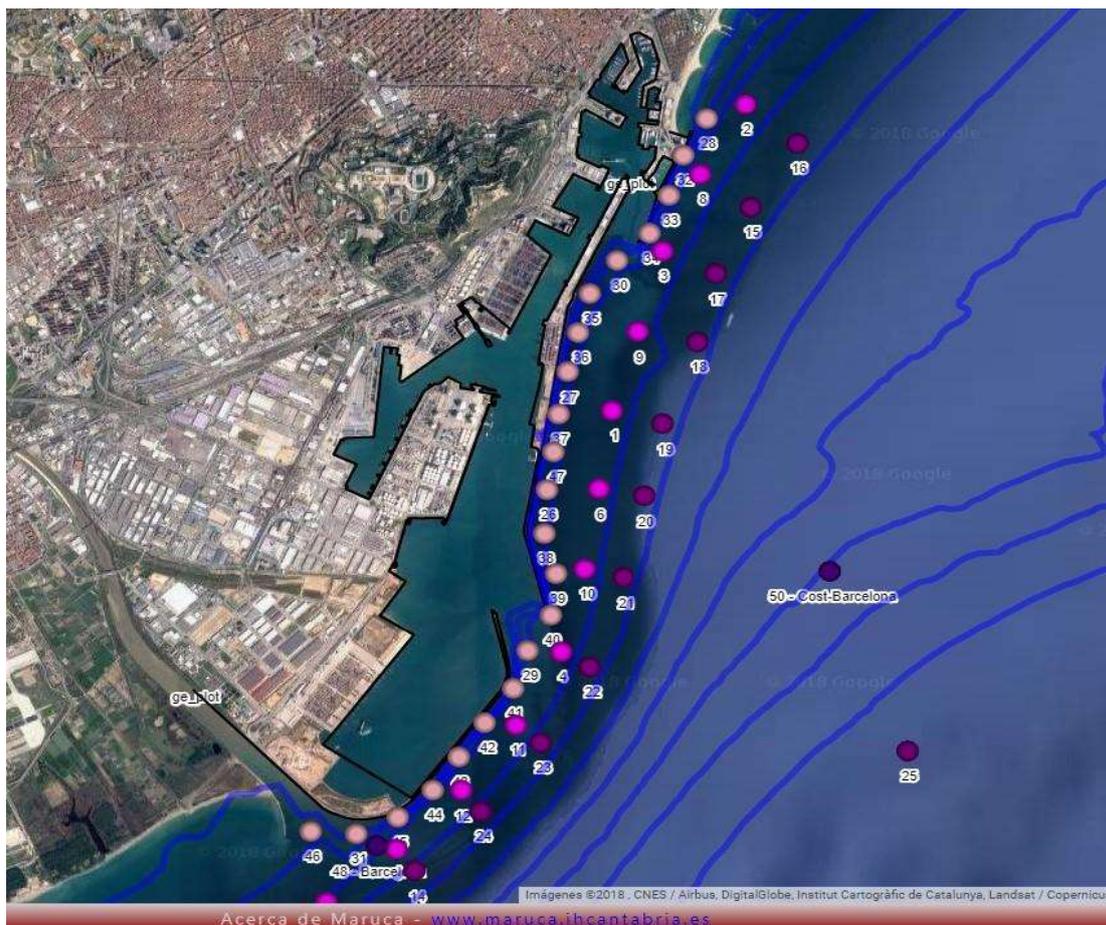


Ilustración 1: Caracterización del dique del Este

Para la obtención de las características del oleaje a pie de dique se han considerado los 9 puntos localizados a pie de dique que no tienen resguardo (descartamos el situado más al norte debido a que se espera que el oleaje venga ya atenuado por la interferencia de la obra de abrigo).

Los puntos se encuentran sobre la isobata de 23 metros de profundidad.

Se considera utilizar el método GEV debido a que permite caracterizar el oleaje en este caso mejor que el método POT ya que este adolece de ciertas rigideces y lo hacen menos aconsejable.

. Para la obtención del periodo de retorno y altura de ola se usó la metodología de la ROM 0.0-01.

2. METODOLOGÍA ROM 0.0-01.

1. Se estima el **IRE** (índice de repercusión económica) para ello se usará la ecuación que propone la ROM en el punto 2.7.1.4:

$$IRE = \frac{C_{RD} + C_{RI}}{C_O}$$

Donde C_O es un parámetro que en España corresponde a 3.000.000€.

C_{RI} valora la afección económica en caso de producirse la destrucción o pérdida de operatividad la estimaremos con la siguiente ecuación:

$$\frac{C_{RI}}{C_O} = C * (A + B)$$

Donde A toma los siguientes valores según el ámbito del sistema productivo:

- LOCAL = 1.
- REGIONAL = 2.
- NACIONAL/INTERNACIONAL = 5.

En este caso estamos en el ámbito regional por lo que nuestro coeficiente será 5.

B es la importancia estratégica del sistema económico y productivo al que sirve la obra:

- IRRELEVANTE = 0.
- RELEVANTE = 2.
- ESENCIAL = 5.

Se considera que la importancia del puerto es relevante, por lo que tomará un valor de 5.

Por último, C depende de la importancia de la obra para el sistema económico, sus valores pueden ser:

- IRRELEVANTE = 0.
- RELEVANTE = 1.
- ESENCIAL = 2.

La importancia de la obra se considera relevante para el sistema económico y productivo, por lo que C tendrá un valor de 2.

De esta manera obtenemos el valor para la relación $\frac{C_{RI}}{C_O} = 20$.

En este caso concreto C_{RD} es de 100.000.000, por lo que se obtiene un $IRE=53.3$

2. A partir del IRE se determina la vida útil, entendiendo la vida útil de la obra como el periodo de tiempo que está en servicio. La ROM 0.0-01 establece con la tabla 2.1 que para un IRE=53.3 se debe considerar 50 años de vida útil:

IRE	≤ 5	6-20	> 20
Vida útil (años)	15	25	50

Tabla I: Tabla 2.1 de la ROM 0.0-01.

Se puede comprobar según la ROM 1.0-09 que para un Puerto comercial abierto a todo tipo de tráficos se debería obtener un índice IRE Alto y por tanto una vida útil mínima de 50 años:

Figura 2.2.33. IRE, ISA y vida útil mínima en función del tipo de área abrigada

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 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 NÁUTICO-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

Tabla II: Valores recomendados para obras de abrigo y defensa según ROM 1.0-09

3. A continuación, se debe establecer la probabilidad conjunta de fallo, por lo que se necesita calcular el ISA (índice de repercusión social y ambiental). El isa se define como el sumatorio de tres subíndices:

$$ISA = \sum_{i=1}^3 ISA_i$$

Donde ISA₁ estima la posibilidad y alcance de pérdidas de vidas humanas, puede tomar uno de los siguientes valores:

- REMOTO = 0.
- BAJO = 3.
- ALTO = 10.
- CATASTRÓFICO = 20.

En este caso la posibilidad es baja, ISA₁=3.

El ISA₂ valora los daños en el medio ambiente y patrimonio histórico-artístico:

- REMOTO = 0.

- BAJO = 2.
- MEDIO = 4.
- ALTO = 8.
- MUY ALTO = 15.

Se establece que el daño es medio y por tanto $ISA_2=4$.

Por último, el ISA_3 establece el índice de alarma social, varía en los siguientes valores:

- BAJO = 0.
- MEDIO = 5 (Para ISA_1 e ISA_2 altos).
- ALTO = 10 (Para ISA_1 catastrófico e ISA_2 muy alto).
- MÁXIMO = 15 (Alarma social máxima).

Por lo que se considera un $ISA_3=0$.

De esta forma obtenemos un $ISA=7$, con lo que se establece que se trata de una obra con repercusión social y ambiental baja, $5 \leq ISA \leq 20$.

La ROM 0.0-01 establece que la probabilidad conjunta de fallo ($P_{f_{ELU}}$) no podrá exceder los valores de la tabla 2.2.:

ISA	< 5	5 -19	20 -29	≥ 30
$P_{f_{ELU}}$	0.20	0.10	0.01	0.0001
β_{ELU}	0.84	1.28	2.32	3.71

Tabla III: Máxima probabilidad conjunta en la fase de servicio para los E.L.U. según la tabla 2.2. de la ROM 0.0-01.

En este caso la probabilidad conjunta de fallo es de 0.10.

Estos datos coinciden con la tabla 2.2.34 de la ROM 1.0-09, que nos indica que para un puerto comercial de pasajeros y mercancías no peligrosas las probabilidades de fallo deben ser 0.10 y el índice ISA bajo:

Figura 2.2.34. ISA y probabilidad conjunta de fallo para ELU y $P_{f_{ELU}}$

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA		ÍNDICE ISA	$P_{f_{ELU}}$	$P_{f_{ELU}}$		
COMERCIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique ¹	Mercancías peligrosas ²	ϵ_3	Alto	0.01	0.07
		Pasajeros y Mercancías no peligrosas ¹	ϵ_2	Bajo	0.10	0.10
	Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique	ϵ_1	No significativo	0.20	0.20	

Tabla IV: Probabilidad de fallo según ISA

4. Usando la ROM 0.0-01 el apartado 7.7.1.1. nos da la relación entre el riesgo y el periodo de retorno según las siguientes relaciones:

$$P_{n,v} = 1 - [F_X(x)]^V = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^V$$

Imagen 2: Relaciones entre riesgo y periodo medio de la ROM 0.0-01.

Entrando en las ecuaciones con una vida útil de 50 años (V) y un riesgo de 0.10 (P_{n,v}), se obtiene un **periodo de retorno de 475 años**, usando 475 años a efectos de cálculo.

3. REGIMEN EXTREMAL.

Para determinar la ola de cálculo, cuyo régimen extremal escalar, ajustado a una función de distribución GEV es:

$$H_s = \mu - \frac{\Psi}{\xi} (1 - (-\log(\text{Prob}))^{-\xi})$$

Donde:

- $\text{Prob} = 1 - \frac{1}{T_R}$ que es la probabilidad acumulada en función del periodo de retorno
- μ , Ψ y ξ son parámetros obtenidos para cada punto en el que se determina el oleaje recogido en la siguiente tabla:

DATOS MARUCA AJUSTADO CON LA TÉCNICA GEV								
PUNTO 40			PUNTO 26			PUNTO 27		
Tr	475		Tr	475		Tr	475	
Prob	0,9979		Prob	0,9979		Prob	0,9979	
μ	3,784		μ	3,662		μ	3,59	
Ψ	0,721		Ψ	0,747		Ψ	0,705	
ξ	-0,157		ξ	-0,2		ξ	-0,193	
Hs	6,63		Hs	6,31		Hs	6,13	
PUNTO 39			PUNTO 47			PUNTO 36		
Tr	475		Tr	475		Tr	475	
Prob	0,9979		Prob	0,9979		Prob	0,9979	
μ	3,748		μ	3,62		μ	3,583	
Ψ	0,735		Ψ	0,714		Ψ	0,736	
ξ	-0,172		ξ	-0,203		ξ	-0,171	
Hs	6,54		Hs	6,13		Hs	6,39	
PUNTO 38			PUNTO 37			PUNTO 35		
Tr	475		Tr	475		Tr	475	
Prob	0,9979		Prob	0,9979		Prob	0,9979	
μ	3,69		μ	3,599		μ	3,461	
Ψ	0,753		Ψ	0,711		Ψ	0,654	
ξ	-0,208		ξ	-0,165		ξ	-0,18	
Hs	6,31		Hs	6,35		Hs	5,90	

Tabla V: Valores de Hs en cada punto de control

Obtenemos una **altura de ola $H_s=6.63$ metros**.

La incertidumbre de este régimen extremal (considerada gaussiana) se regirá por un ajuste de la desviación típica que satisface la función:

$$\sigma_{H_s} = C_0 + C_1 \cdot H_s + C_2 \cdot H_s^2 + C_3 \cdot H_s^3$$

Según los datos de MARUCA tenemos:

- $C_0 = -1.816$
- $C_1 = 1.633$
- $C_2 = -0.406$
- $C_3 = 0.032$

- Obteniendo para $H_s = 6.63$ metros un valor $\sigma = 0.49$ metros y un valor de H_s para la banda de confianza del 90% igual a:

$$H_{sup90\%} = 6.63 + 1.65 \cdot 0.49 = 7.44 \text{ metros}$$

Por lo tanto, la altura de ola significativa H_s de cálculo será de 7.44 metros.

Respecto a la dirección del temporal de diseño se determina que tiene dirección levante N90ºE con una incertidumbre $\sigma = 6.4^\circ$

Se ha demostrado que las olas no se presentan con cualquier periodo pico, ya que existe una relación entre la altura de ola y periodo, en nuestro caso se puede ajustar mediante una relación lineal H_s - T_p :

$$T_p = a \cdot H_s^b$$

Según los datos de MARUCA tenemos:

- $a = 6.367$
- $b = 0.272$

Tomando $H_s = 7.44$ m se obtiene el periodo pico de $T_p = 11$ segundos.

Al igual que como ocurre con H_s , la incertidumbre de la determinación de T_p pico se debe obtener contando con la desviación típica que depende de H_s comportándose como indica la expresión:

$$\sigma_{T_p} = c \cdot H_s^d$$

Según los datos de MARUCA tenemos:

- $c = 0.968$
- $d = -0.133$

Tomando $H_s = 7.44$ m se obtiene una desviación periodo pico de $T_p = 0.74$ segundos, para obtener el valor máximo y mínimo de la banda del 90%:

$$T_{p_{sup90\%}} = 11 + 1.65 \cdot 0.74 = 12.21 \text{ segundos}$$

$$T_{p_{inf90\%}} = 11 - 1.65 \cdot 0.74 = 9.77 \text{ segundos}$$

4. RÉGIMEN MEDIO.

El régimen medio del oleaje es la probabilidad de que la altura de ola no supere un cierto valor en el año climático medio. Habitualmente es descrito con una distribución teórica que ajusta la zona media o central de un histograma no acumulado.

Para calcular la probabilidad de no excedencia se usará la fórmula:

$$P_{No\ excedencia} = 1 - P_{excedencia} = 1 - \frac{\text{Número de horas en las que se excede}}{\text{Horas totales al año}}$$

Utilizando la ROM 1.0-09 obtenemos con la figura 2.2.37. la máxima duración probable de una parada operativa:

ÍNDICE IREO	ÍNDICE ISAO			
	No significativo	Bajo	Alto	Muy alto
Bajo	24 horas	12 horas	6 horas	0
Medio	12 horas	6 horas	3 horas	0
Alto	6 horas	3 horas	1 horas	0

Tabla VI: Figura 2.2.37. de la ROM 1.0-09 que determina la duración máxima probable de parada operativa.

AL tener un ISAO bajo (5) e IREO alto (>20), la parada sería de 3 horas, por lo que quedaría una probabilidad de no excedencia igual a 0.99966.

Introduciendo los valores en las formulación que nos proporciona MARUCA obtenemos:

PUNTO 40 RÉGIMEN MEDIO			
Prob	0,9997	Prob	0,9997
μ	0,389	μ	4,814
ψ	0,427	ψ	1,173
ξ	0,056	ξ	-0,109
Hs	4,68	Tp	11,07

Tabla VII: Cálculos del régimen medio en el punto más desfavorable

Una Hs de 4.68 metros y un Tp de 11 segundos.

5. NIVEL DEL MAR.

Para terminar será necesario conocer la sobreelevación del nivel del mar. Para ello deberemos determinar la marea astronómica y la marea meteorológica, que son las que componen el nivel de marea:

$$S_{NM}(t) = S_{MA}(t) + S_{MM}$$

Siendo:

- S_{NM} : Nivel de marea.
- S_{MA} : Sobreelevación causada por la marea astronómica.
- S_{MM} : Sobreelevación causada por la marea meteorológica.

El nivel de marea de la zona de estudio se puede obtener usando la información del mareógrafo del Puerto de Barcelona 2 (2°9'56.52"E 41°20'30.37"N). Siendo el clavo geodésico más cercano el "Clavo 146", situado sobre la esquina derecha de la base de hormigón del mareógrafo y nivelado por el Instituto Cartográfico de Cataluña en 2011.



Imagen 3: Localización del Datum y mareógrafo.

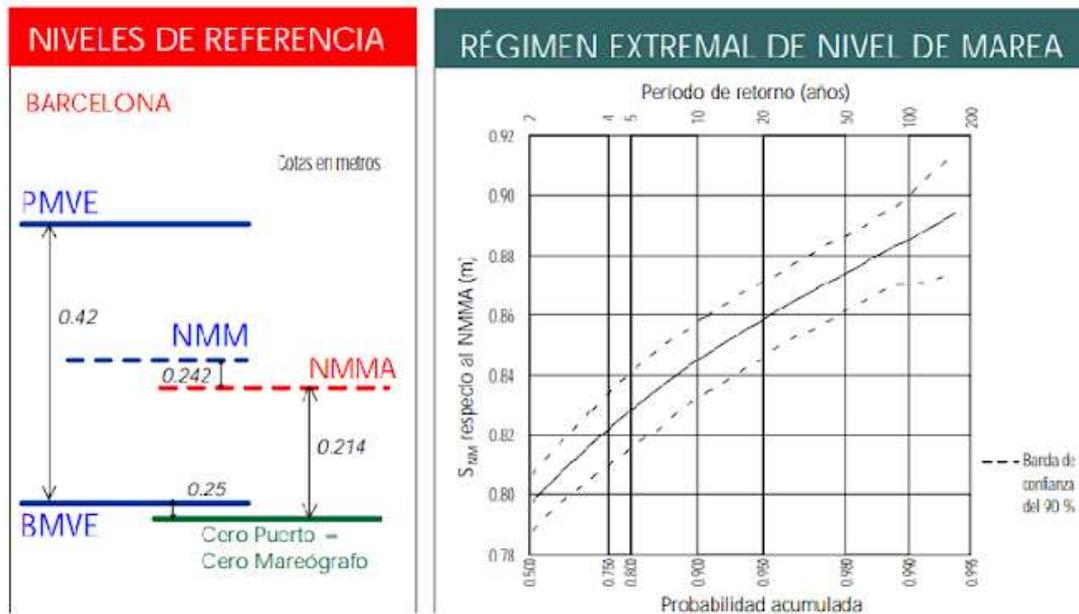


Imagen 4: niveles de referencia y S_{MN} según el periodo de retorno o probabilidad acumulada.

Con la tabla anterior tenemos el nivel máximo de marea que se puede esperar atendiendo al periodo de retorno y podemos ver el régimen medio del nivel de marea de dos formas en el mismo atlas: como función de probabilidad acumulada y como número de horas al año en las que se excede la cota dada.

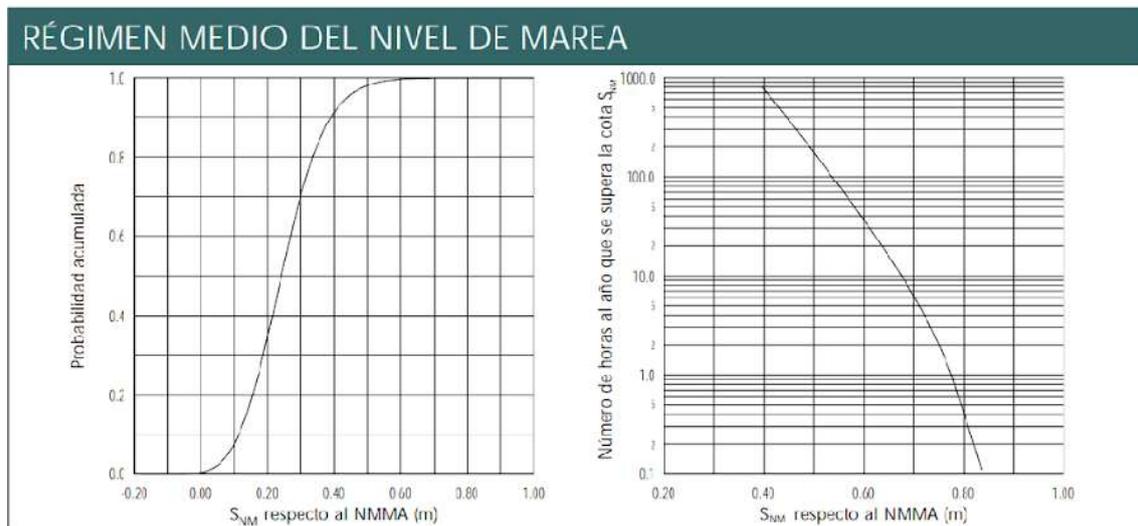


Imagen 5: Régimen medio del nivel de marea según el Atlas De Inundación En El Litoral Peninsular Español.

Con todo esto, se puede obtener para un periodo de retorno de 475 años las siguientes sobreelevaciones extremas del nivel de marea:

Nivel de marea SMN respecto al NMMA 0.94 m

Por lo que se ha visto, el nivel del mar no supera en más de 0.85 metros el NMMA en condiciones normales. Y para un periodo de retorno de 475 años la sobreelevación del nivel del mar alcanzará 0.94 metros sobre el NMMA.

6. RESUMEN DE LOS RESULTADOS.

A continuación, se presenta un resumen con todas las variables de cálculo relevante para definir los elementos utilizados para reparar las zonas afectadas del dique:

Tr= 475 años

Hs=6.63 metros

Tpsup= 12.2 segundos

Tpinf= 9.8 segundos

NMMA = 0.94 metros

- Para régimen medio:

Hs= 4.68 metros

Tp= 11 segundos

APÉNDICE 1: DATOS MARUCA Y ATLAS.

A continuación, se incluyen un resumen de los documentos que se han consultado y de los que se ha extraído la información para realizar los cálculos del anexo.

MARUCA:

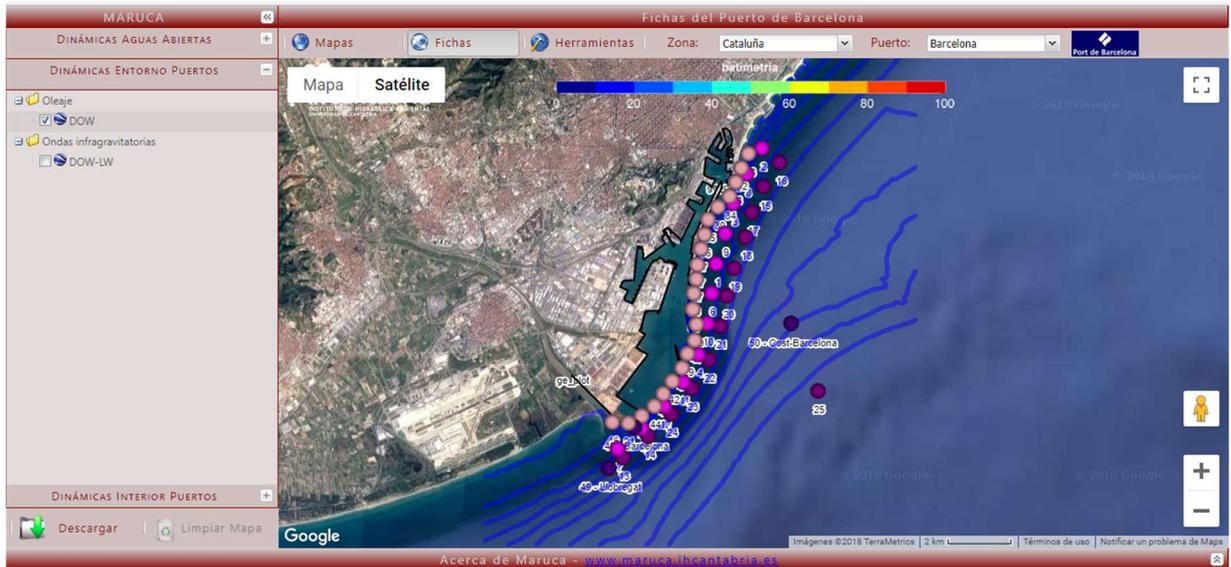


Imagen 6: Entrada del visor MARUCA al puerto de Barcelona

Dentro del visor seleccionamos la opción FICHAS, introducimos nuestra ZONA y PUERTO. Nos aparecerá la pantalla arriba mostrada. En este caso se han comprobado todos los puntos del dique quedándonos con el más desfavorable. Para obtener los datos se selecciona un punto y nos habilita la posibilidad de ver informes, de estos informes los que principalmente nos interesan son los de régimen extremal, régimen medio y rosas direccionales:

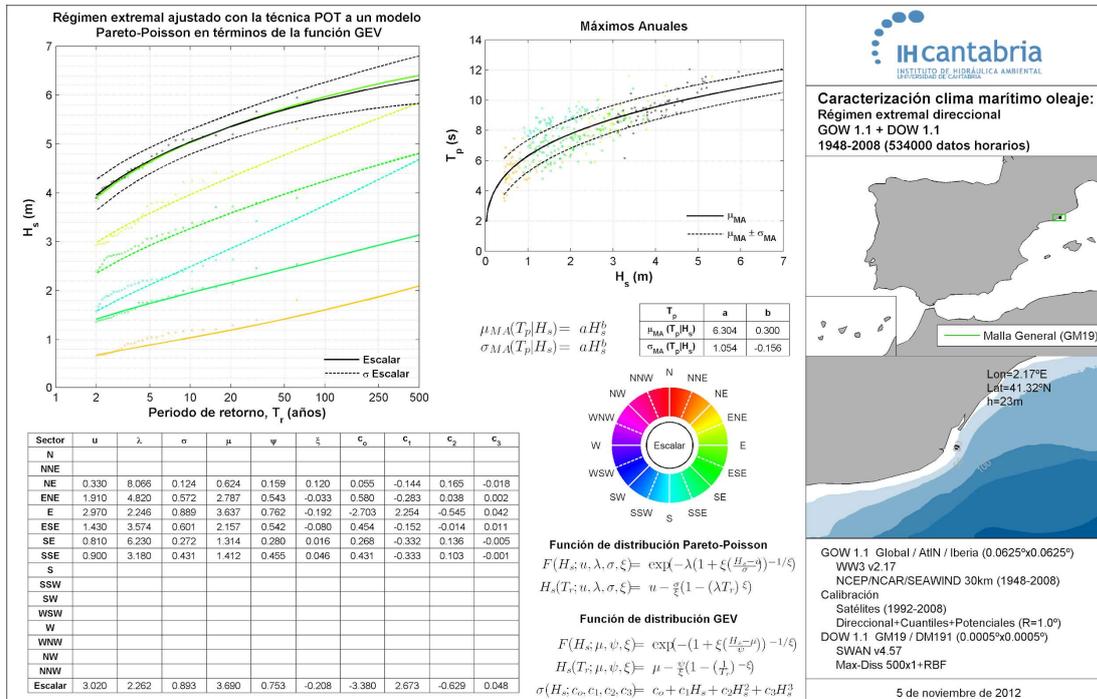


Imagen 7: Tabla de información que proporciona el visor para régimen extremal

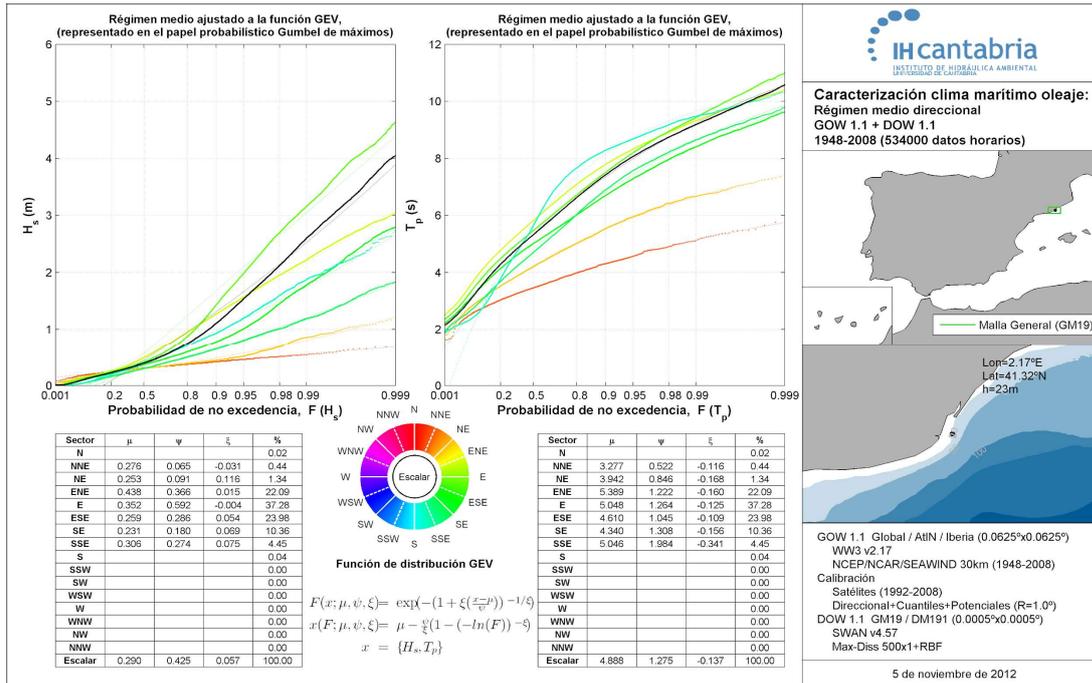


Imagen 8: Tabla de información que proporciona el visor para régimen medio

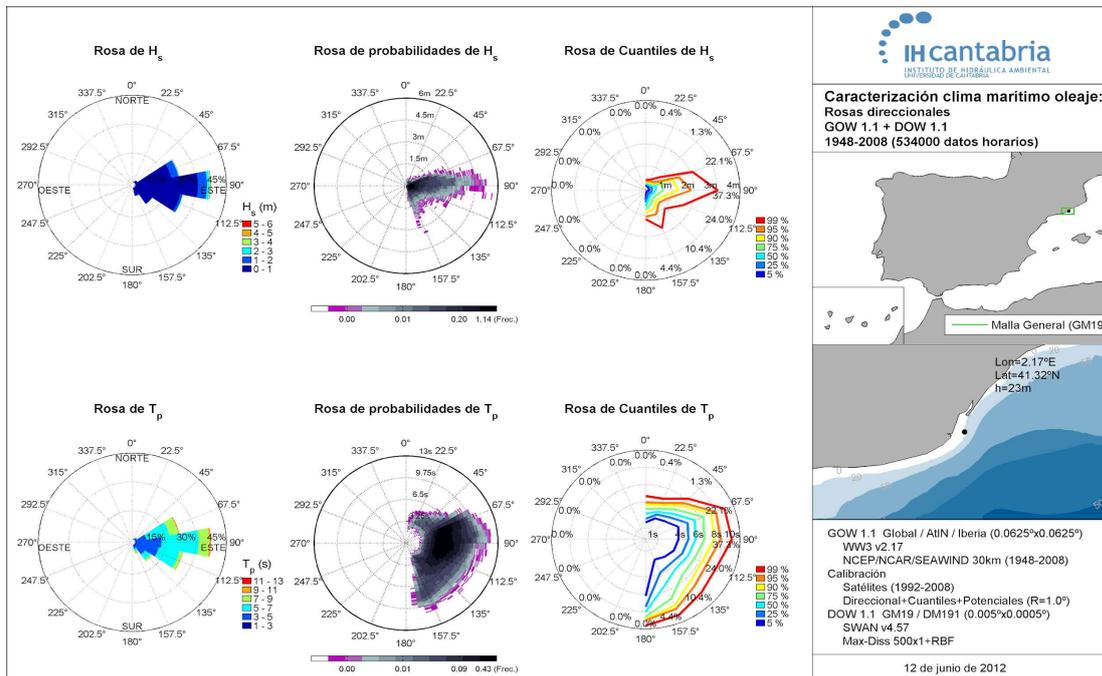


Imagen 9: Rosas de viento que proporciona el visor para cada punto

- ATLAS:

Directamente se ha procedido a utilizar el documento temático del “Atlas de inundación del litoral Español” donde nos explica la metodología que se sigue para obtener los datos que nos propone en el mismo y la metodología en caso de ser necesario el cálculo de la marea. En nuestro caso al encontrarse el mareógrafo tan próximo a la obra los datos son directamente los que nos proporciona para el Area VIII subzona a:

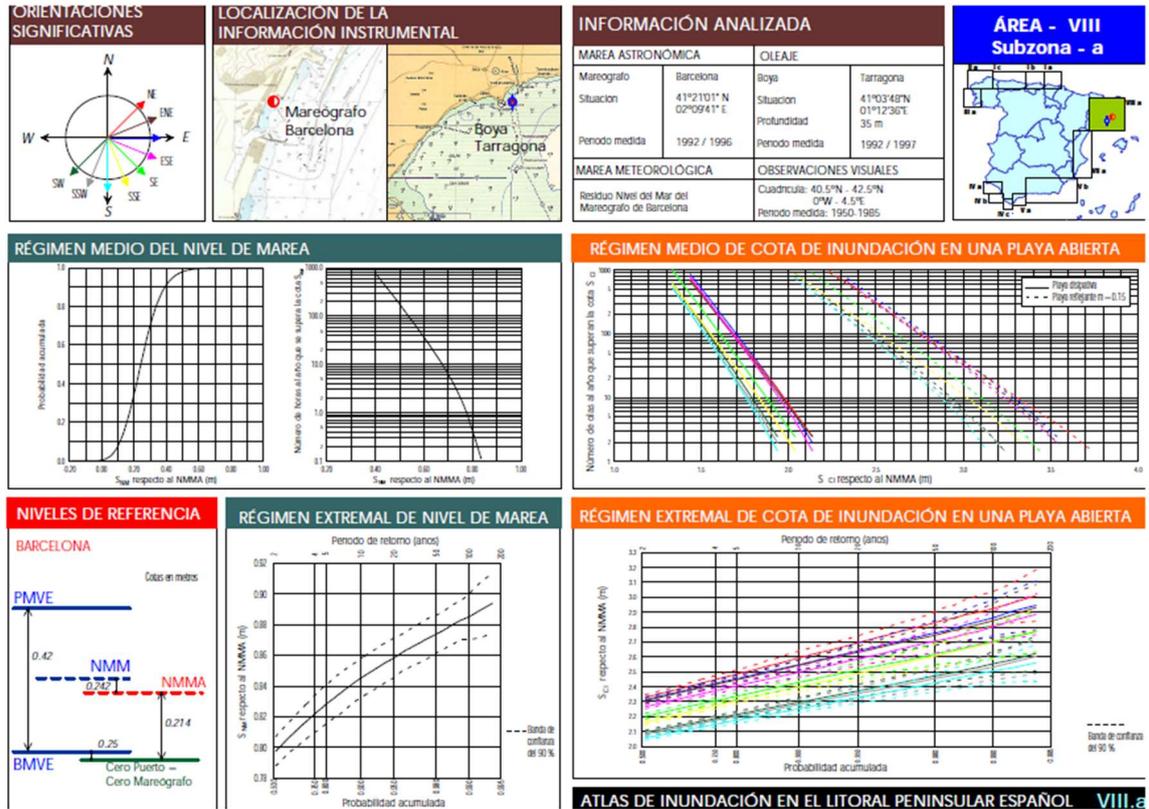


Imagen 10 : Tabla de información que proporciona el documento ATLAS