



Anejo 7. Clima marítimo y propagación del oleaje

ÍNDICE

1. OBJETO	1
2. LOCALIZACIÓN.....	1
3. CONFIGURACIÓN DE LA COSTA.....	2
4. OBTENCIÓN DE DATOS	4
5. METODOLOGÍA Y RESULTADOS OBTENIDOS	6
5.1 Régimen medio direccional en aguas profundas y relación Tp-Hs.....	6
5.2 Régimen extremal en aguas profundas y distribución direccional	9
5.3 Régimen medio a 5 m de profundidad en el área de actuación	10
5.4 Valores asociados a periodos de retorno de 70 años a profundidad de 5 m	14
6. CONCLUSIONES	16

1. OBJETO

En el presente anejo tiene como objetivo la descripción del clima marítimo existente en la zona de estudio.

Se entiende por clima marítimo el estudio de las características de las acciones como el oleaje y el viento, siendo estas acciones condicionantes fundamentales en el dimensionamiento o actuación a realizar. Por ello, para cualquier actuación en la costa es imprescindible conocer el clima marítimo de la zona

Por tanto, el objeto del presente anejo es conocer las características (magnitud, duración) de las acciones incidentes en el tramo de costa en cuestión. Así pues, el documento contiene el análisis de los regímenes medios y extremos a 5 metros de profundidad para el diseño de obras de protección costera.

2. LOCALIZACIÓN.

La zona de actuación se localiza en la comunidad Valenciana, más concretamente en la playa de Casablanca, Almenara.

El municipio de Almenara se encuentra en la provincia de Castellón en la Comunidad Valenciana, situado en el límite sur de la provincia de Castellón. Perteneció a la comarca de la Plana Baja con una población de 5.920 personas censadas en 2017 según el INE (Instituto Nacional de Estadística, 2017)

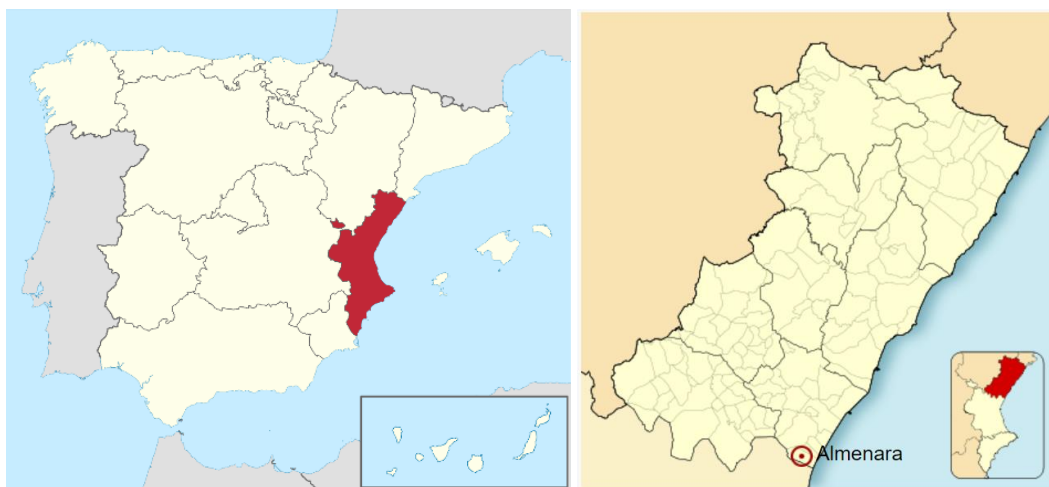


Figura 1. Situación del municipio de Almenara. Fuente Wikipedia

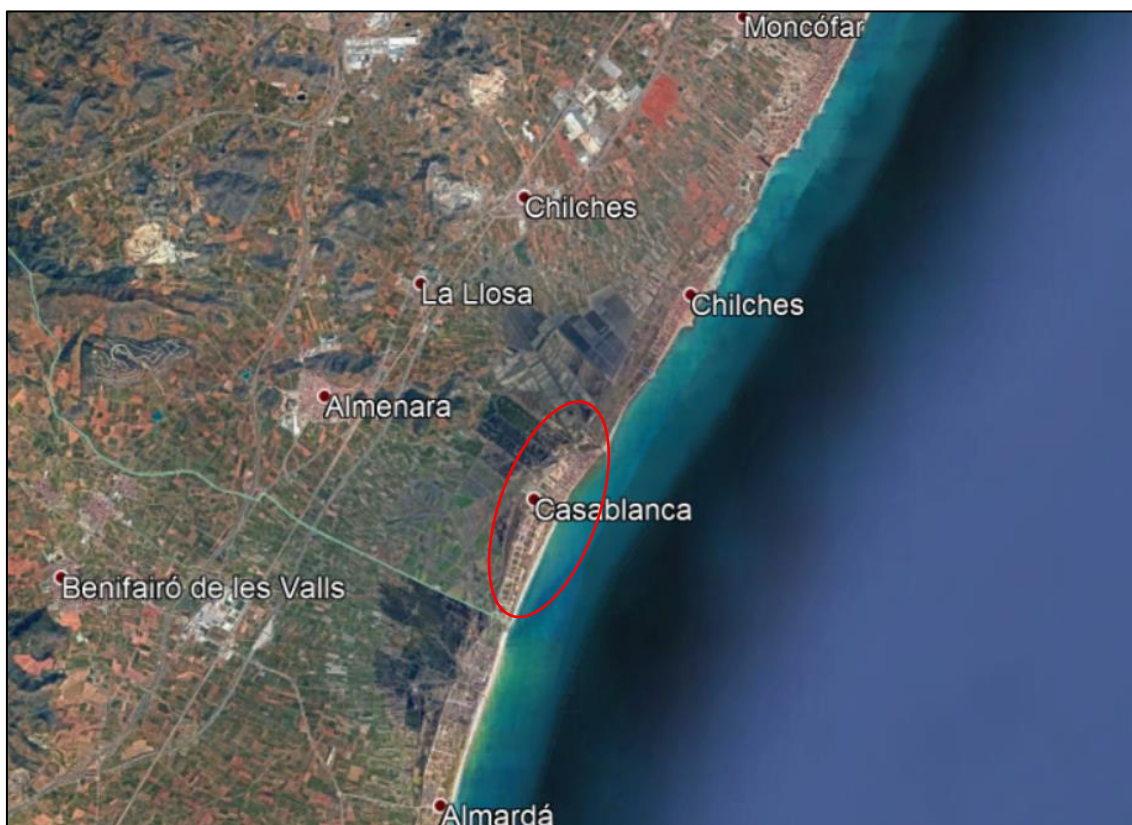


Figura 2. Localización de Casablanca

En el catálogo de playas (Ministerio para la transición ecológica, 2019) la playa se denomina Playa de Casablanca. La playa de Casablanca **como se puede consultar en el apéndice 1 del anejo 1**, tiene 2.989 m de longitud y según dicho catálogo la anchura media de la playa es de 43 m, mientras que la anchura mínima que se da en el tramo norte presenta es de 10 m.

Por otra parte, se determina que es un tipo de playa urbana compuesta por roca, grava y arena, con un diámetro D_{50} : 0,8179.

3. CONFIGURACIÓN DE LA COSTA.

A partir del Anejo I de la ROM (Recomendaciones para Obras Marítimas 0.3-91, 1991) se ha localizado la actuación dentro del área VII.

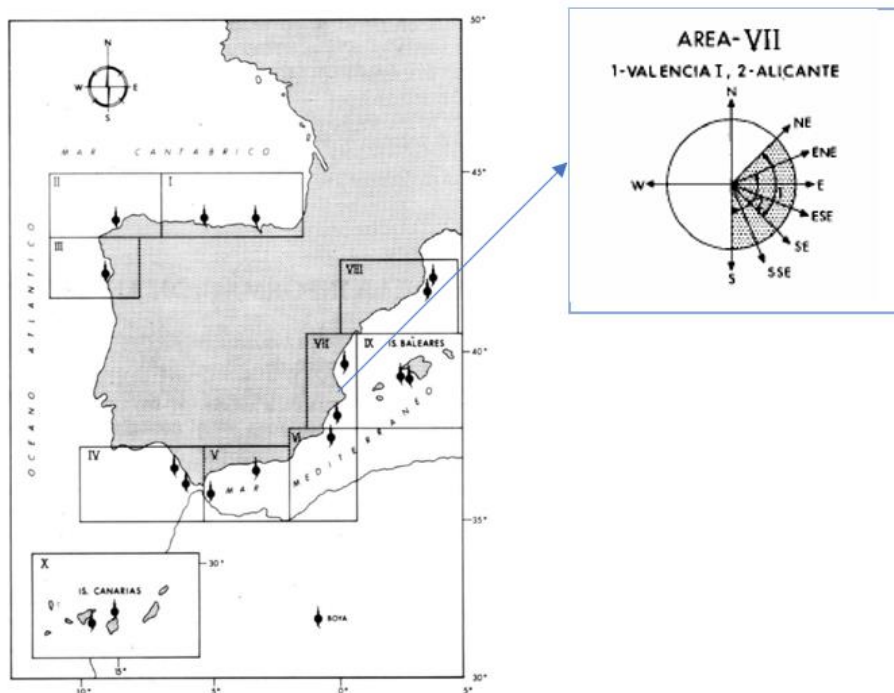


Figura 3. Zonificación del área de estudio en el litoral español según la ROM 0.3-91

Concretamente, en la zona de actuación de la costa de Almenara, las direcciones de oleaje relevantes para el estudio quedan representadas en la siguiente figura. Por tanto, se puede deducir que los oleajes significantes proceden del NNE-SSO, dada la morfología de la costa.

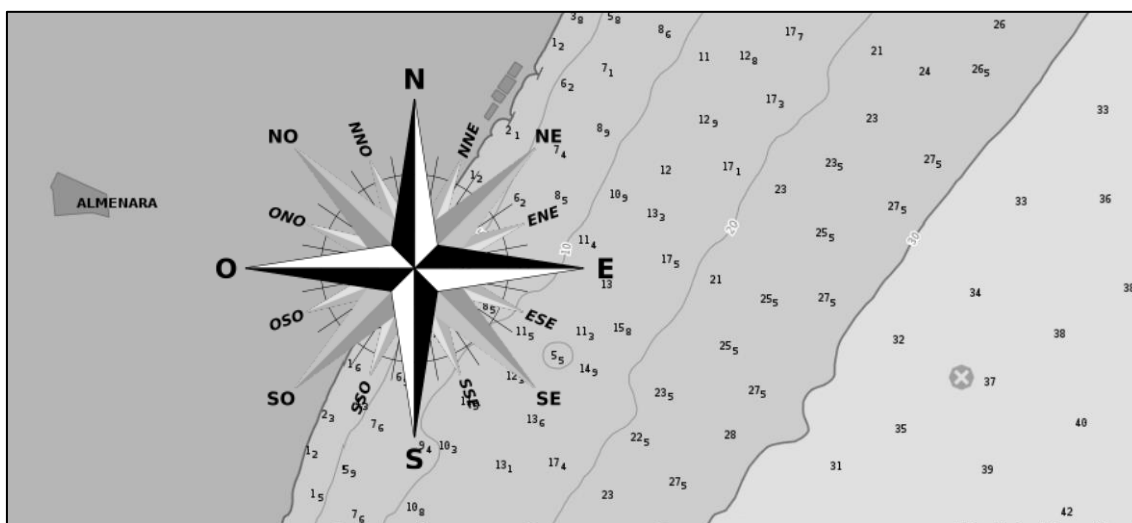


Figura 4. Configuración de la costa en Casablanca (Almenara). Fuente: Cartas náuticas.

No obstante, las direcciones de afección dependerán del punto considerado, tomando estos anteriores como una simplificación de la zona de estudio. En puntos más alejados de la zona, con seguridad existirán más direcciones relevantes además de las citadas.

Se opta por simplificar la realidad adoptando una batimetría recta y paralela a la costa para facilitar los cálculos de propagación de oleaje como se puede observar en la Figura 5.

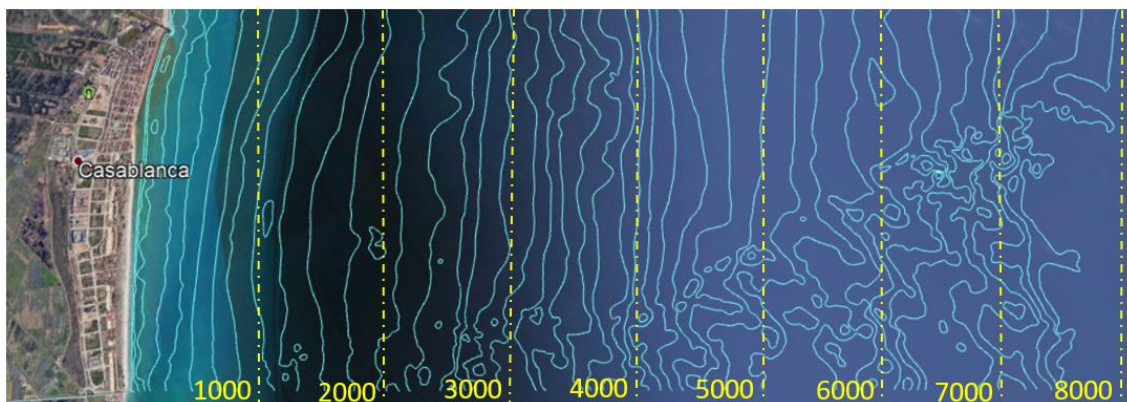


Figura 5. Idealización de la batimetría a partir de la carta náutica. Fuente: Google Earth (02/02/2019)

4. OBTENCIÓN DE DATOS

Una vez ha sido identificada el área de estudio, se ha de proceder a la obtención de los datos de oleaje, escogiendo para ello la fuente que mejor se adapte y que mayor fiabilidad presente en el marco del presente anejo.

En la actualidad, se disponen una serie de datos como son:

- Datos visuales.
- Datos instrumentales. Éstos son medidas directas o indirectas obtenidas a través de instrumentos de medición. Actualmente, Puertos del Estado posee varios tipos de sensores oceanográficos situados a lo largo de la costa española. Los más empleados son:
 - Boyas escalares. En Puertos del Estado se corresponden con estaciones de color rojo situadas a lo largo de la costa española.
 - Boyas direccionales. Estas boyas, además de parámetros escalares, incorporan información direccional y meteorológica. En Puertos del Estado se corresponden con estaciones de color rojo situadas a lo largo de la costa española.
 - Datos sintéticos. Estos datos proceden de modelos de análisis del sistema de predicción operacional. En Puertos del Estado se corresponden con estaciones de color verde situadas a lo largo de la costa española.

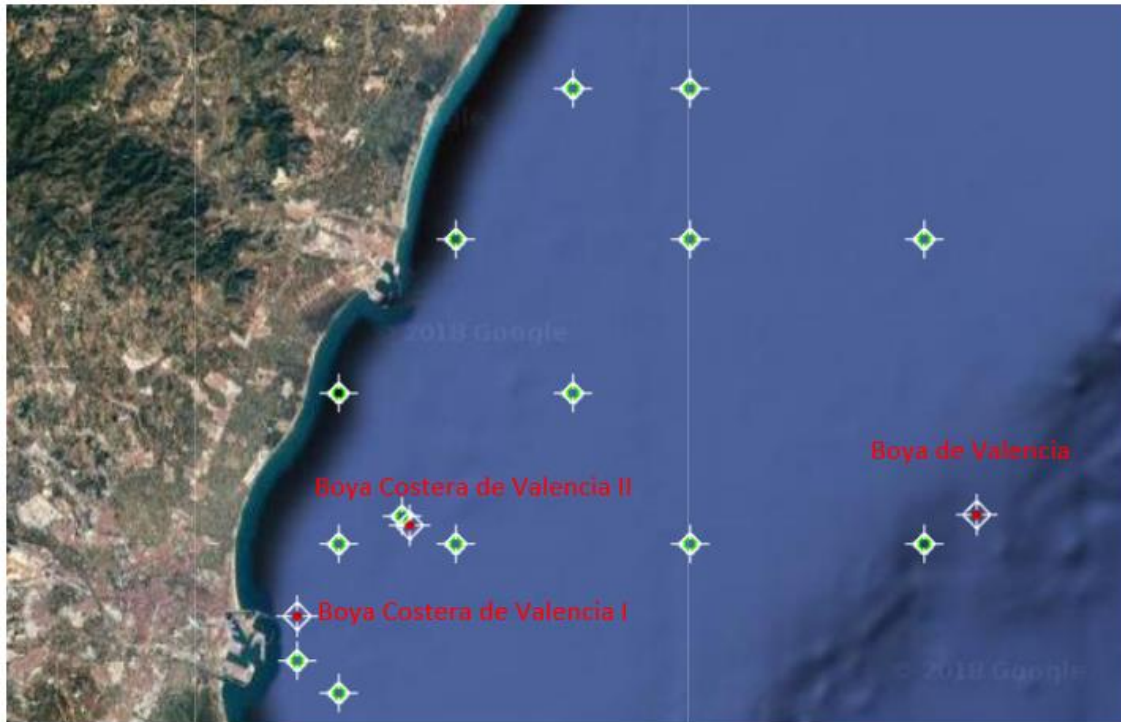


Figura 6. Red de Boyas de Puertos del Estado. Fuente: Puertos del Estado (02/02/2019)

Se opta por emplear datos registrados por boyas en lugar de recopilar datos de los puntos sintéticos, ya que los datos de las boyas son mucho más precisos y, además, los puntos sintéticos no proporcionan datos extremales. Se dispone de 3 boyas reales en la zona del puerto de Valencia, de las cuales se presentan sus características a continuación con la referencia de cada una.

- La Boya de Valencia (código 2630) es la más lejana respecto a la costa de Valencia, es de tipo direccional y se caracteriza por tener la mayor profundidad entre las tres otras (260m). Su periodo de registro de datos está entre el año 2005 y 2019, lo que quiere decir que tiene 14 años de datos.
- La Boya Costera de Valencia II (código 1619) es de tipo direccional, pero a una profundidad de 50m, y con solamente 8 años de datos (entre el año 2005 y 2013), en la figura anterior se pueden observar características de posición geográfica.
- La Boya Costera de Valencia I (código 1617) es la que tiene más años de registro entre las tres boyas de la zona de Valencia (datos entre el año 1985 y 2005), está a una profundidad de 21 metros, y es de tipo escalar.

Con el fin de la elección de la boya a utilizar para tomar los datos de oleaje se plantean cuatro medidas primordiales que se detallan a continuación:

1- Tipo del sensor de la boya:

Como se especifica anteriormente, la Boya Costera de Valencia I (código 1617) queda descartada por tener un sensor de tipo escalar, frente a las dos otras boyas que tienen sensores direccionales.

2- Años de registro:

La Boya Costera de Valencia I (1617) es la que tiene más años de registro entre las tres boyas, pero por la condición 1 queda descartada. Por otra parte, la Boya de Valencia (2630) tiene más años de registro que la Boya Costera de Valencia II (1619).

3- Aguas profundas:

La Boya de Valencia (2630) se caracteriza por tener un conjunto de datos REDEXT que está formado por las medidas procedentes de la red de boyas de aguas profundas, además de esto se puede observar que esta boya está a 260 m de profundidad lo que implica que está a aguas profundas cumpliendo la ecuación $d < L/2$ para la mayoría de alturas de ola, lo que implica que esta boya puede ser elegida para la toma de datos sin tener que propagar el oleaje desde bajas profundidades. La Boya Costera de Valencia I y la Boya Costera de Valencia II se encuentran a 21m y 50m respectivamente, y tienen un conjunto de datos REDCOS que está formado por las medidas procedentes de la 'Red de Boyas Costeras de Puertos del Estado'. Esta red actualiza la antigua red de boyas escalares REMRO.

4- Actualización de los datos:

Entre las tres boyas de la zona a estudiar, la única boya que sigue tomando datos en la actualidad es la Boya de Valencia (2630), lo cual se considera buen criterio de elección de la boya con la que se tomarán los datos.

5. METODOLOGÍA Y RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 Régimen medio direccional en aguas profundas y relación Tp-Hs

Para caracterizar el régimen medio tanto direccional como la incidencia de este sobre una profundidad determinada, es necesario consultar de entre todas, la siguiente información:

		Tp										
	1.0	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10	TOTAL
Hs(m)	0.000	0.041	3.242	8.228	6.832	5.803	3.046	0.835	0.172	0.136	0.031	28,367
	0.000	0.000	1.194	13.309	12.16	7.537	6.187	3.949	0.729	0.197	0.016	45,278
	0.000	0.000	0.000	1.249	7.666	2.904	1.942	2.048	1.258	0.515	0.041	17,622
	0.000	0.000	0.000	0.004	1.087	1.639	0.892	0.725	0.583	0.589	0.076	5,595
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.297	0.432	0.378	0.251	0.364	0.064	1.81
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.150	0.159	0.117	0.158	0.037	0.648
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.038	0.137	0.066	0.099	0.022	0.364
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.057	0.06	0.051	0.019	0.191
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.017	0.03	0.016	0.07
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004	0.008	0.007	0.021
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.015	0.017	0.035
	---	0.041	4,435	22,789	27.77	18,206	12,691	8,299	3.26	2,162	0.347	100%

Tabla 1. Periodo pico (Tp) – Altura significativa (Hs). Fuente Puertos del Estado (02/02/2019)

Dirección	Hs (m)												Total
	≤ 0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	> 5.0	
CALMAS	3.794												3.794
N 0.0		.279	.600	.414	.207	.062	.021	.003	-	-	-	-	1.587
NNE 22.5		.752	1.883	1.321	.586	.135	.062	.017	.003	.003	-	-	4.764
NE 45.0		1.921	4.933	2.677	1.090	.514	.224	.155	.086	.024	.010	.028	11.663
ENE 67.5		4.005	7.340	3.353	1.445	.697	.276	.183	.093	.034	.014	.010	17.451
E 90.0		4.967	5.012	1.090	.348	.103	.028	.017	.007	-	-	-	11.573
ESE 112.5		4.898	3.439	.448	.100	.017	.014	.003	.003	-	-	-	8.924
SE 135.0		5.595	4.405	.269	.041	.007	-	-	-	-	-	-	10.317
SSE 157.5		3.732	5.640	1.228	.124	.003	-	-	-	-	-	-	10.728
S 180.0		1.104	1.211	.172	.021	-	-	-	-	-	-	-	2.508
SSW 202.5		.717	1.093	.155	.031	-	-	-	-	-	-	-	1.997
SW 225.0		.842	2.880	.931	.059	-	-	-	-	-	-	-	4.712
WSW 247.5		.400	2.525	2.408	.566	.059	.007	.003	-	-	-	-	5.968
W 270.0		.128	.566	.548	.124	.034	.007	-	-	-	-	-	1.407
WNW 292.5		.135	.335	.314	.110	.007	-	-	-	-	-	-	.900
NW 315.0		.093	.352	.321	.086	.014	-	-	-	-	-	-	.866
NNW 337.5		.155	.348	.210	.107	.007	.003	.010	-	-	-	-	.842
Total	3.794	29.724	42.563	15.861	5.047	1.659	.642	.393	.193	.062	.024	.038	100 %

Tabla 2. Altura significativa (Hs) – Dirección de procedencia. Fuente Puertos el Estado (02/02/2019)

La incidencia del oleaje sobre la costa se realiza desde la dirección NE hasta la SSE [45° – 157.5°] como se ha mostrado en el Anejo 7. Dirección de lujo de energía. Por lo que las probabilidades de ocurrencia en porcentaje consideradas son las que se encuentran en este rango.

Definiendo el régimen medio direccional en aguas profundas con la siguiente tabla:

Hs(m)													
	0.2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	TOTAL
NE	0.000	1.921	4.933	2.677	1.09	0.514	0.224	0.155	0.086	0.024	0.01	0.028	11.663
ENE	0.000	4.005	7.34	3.353	1.445	0.697	0.276	0.183	0.093	0.034	0.014	0.01	17.451
E	0.000	4.967	5.012	1.09	0.348	0.103	0.028	0.017	0.007	0.000	0.000	0.000	11.573
ESE	0.000	4.898	3.439	0.448	0.1	0.017	0.014	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	8.924
SE	0.000	5.595	4.405	0.269	0.041	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.317
SSE	0.000	3.732	5.64	1.228	0.124	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.728

Tabla 3. Probabilidades de altura de ola por direcciones significativas. Fuente Puertos del Estado (02/02/2019)

En la tabla 3 se ha destacado las direcciones que serán las susceptibles de alcanzar el punto de previsión por propagación. Dichas direcciones representan únicamente el 70,66% del tiempo del año, por lo tanto, el resto del tiempo en el punto de previsión existirán calmas (29,34%).

La relación Periodo del oleaje (T_p , media) asociado a una altura de ola significativa (H_s) se obtiene a partir del cálculo de la media de todos los periodos picos (T_p) asociados a cada altura de ola significativa (H_s) de la Tabla 1.

Se realiza el producto de la probabilidad de cada altura por su periodo y se divide entre la probabilidad total de esa altura.

Los resultados se muestran en la siguiente Tabla 4:

H_s (m)	T_p ponderado (s)
$\leq 0,5$	5.039
1	5.443
1.5	6.109
2	7.024
2.5	8.040
3	8.506
3.5	8.775
4	9.089
4.5	9.786
5	9.952
$>5,0$	10.400

Tabla 4. Altura significativa (H_s) – Periodo de retorno (T_p , medio). Fuente Propia

A continuación, en la Figura 7, se realiza una gráfica con los resultados obtenidos y su tendencia lineal:

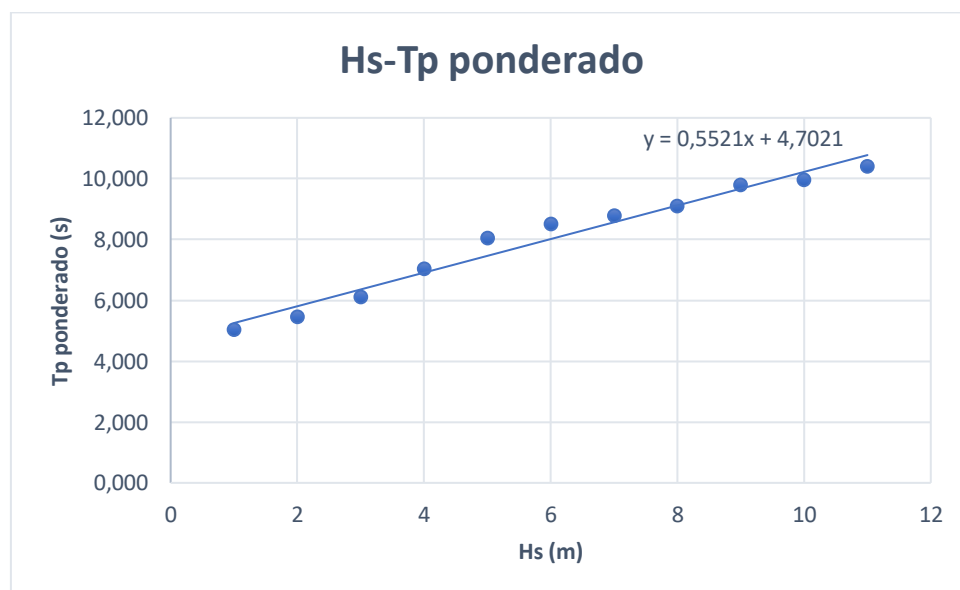


Figura 7. Gráfica de relación H_s – T_p , ponderado

De este modo, si se quiere obtener el periodo de retorno asociado a cualquier ola entre 0.5m y 5m, basta con reemplazar el valor de altura de ola requerido en la ecuación de línea de tendencia del gráfico.

5.2 Régimen extremal en aguas profundas y distribución direccional

Con respecto a la obtención de los regímenes extremos, debido a que el conjunto de datos de oleaje direccional disponible en la actualidad no es lo suficientemente elevado, se ha procedido a la estimación de la direccionalidad de los regímenes extremos a partir del régimen escalar extremal y el reparto direccional de los regímenes medios, según propone la ROM 0.3-91 (Recomendaciones para Obras Marítimas 0.3-91, 1991).

A partir de los datos proporcionados por la boya considerada anteriormente, se obtiene la tabla siguiente, que propone información sobre las probabilidades de las diferentes alturas de ola con referencia a las direcciones de procedencia de oleaje:

	Hs (m)												
	0.2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	TOTAL
NE	0.000	1.921	4.933	2.677	1.09	0.514	0.224	0.155	0.086	0.024	0.01	0.028	11.663
ENE	0.000	4.005	7.34	3.353	1.445	0.697	0.276	0.183	0.093	0.034	0.014	0.01	17.451
E	0.000	4.967	5.012	1.09	0.348	0.103	0.028	0.017	0.007	0.000	0.000	0.000	11.573
ESE	0.000	4.898	3.439	0.448	0.1	0.017	0.014	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	8.924
SE	0.000	5.595	4.405	0.269	0.041	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.317
SSE	0.000	3.732	5.64	1.228	0.124	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.728

Tabla 5. Probabilidades de altura de ola con respecto a cada dirección de procedencia de oleaje

A partir de la tabla anterior, para facilitar la aplicación de la metodología de asignación de la información direccional al régimen extremal escalar se obtienen las probabilidades acumuladas en la tabla siguiente:

	Hs (m)												
	0.2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	TOTAL
NE	0.000	0.165	0.588	0.817	0.911	0.955	0.974	0.987	0.995	0.997	0.998	1.000	9.385
ENE	0.000	0.229	0.650	0.842	0.925	0.965	0.981	0.991	0.997	0.999	0.999	1.000	9.578
E	0.000	0.429	0.862	0.956	0.987	0.995	0.998	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	10.227
ESE	0.000	0.549	0.934	0.984	0.996	0.998	0.999	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	10.458
SE	0.000	0.542	0.969	0.995	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	10.506
SSE	0.000	0.348	0.874	0.988	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	10.209

Tabla 6. Probabilidades de no excedencia de altura de ola con respecto a cada dirección de procedencia de oleaje

A continuación, se aplica el método indicado por la ROM 0.3-91 (Recomendaciones para Obras Marítimas 0.3-91, 1991), para estimar la direccionalidad de los regímenes extremos a partir del régimen escalar extremal y del reparto direccional de los regímenes medios, la metodología a seguir consiste en:

1- Obtener a partir de los regímenes medios direccionales, para las direcciones que puedan alcanzar la zona de actuación, las alturas de ola H^* tales que:

$$P(Hs Hs^*) = 0.99$$

$$P(Hs Hs^{**}) = 0.999$$

2- Obtener el valor medio de dichas alturas como representativa del sector direccional para obtener la direccionalidad del régimen extremal:

$$Hs, \text{dirección} = (Hs^* Hs^{**})/2$$

3- Definir un coeficiente de direccionalidad, $K\alpha$ de la siguiente forma:

$K\alpha = 1$ para la dirección en la que $Hs, \text{dirección}$ sea la mayor.

$K\alpha = (Hs, \text{dirección} / Hs, \text{max, dirección})$ para el resto de direcciones.

Para obtener las alturas de ola asociadas a las probabilidades de 0.99 y 0.999 se procede a la interpolación de las probabilidades de cada dirección, obtenemos los siguientes valores $K\alpha$ de para cada dirección:

	H*0.99	H**0.999	Hs,media	Kalfa
NE	3.604	5.867	4.736	1.000
ENE	3.438	4.770	4.104	0.867
E	2.195	3.395	2.795	0.590
ESE	1.749	1.115	1.432	0.302
SE	1.397	1.763	1.580	0.334
SSE	1.584	1.973	1.778	0.375

Tabla 7. Obtención de los coeficientes $K\alpha$ para cada dirección

La altura de ola para profundidades indefinidas en régimen extremal se obtendrá multiplicando la altura de ola escalar por el coeficiente direccional correspondiente a la dirección de interés como se muestra en la ecuación siguiente:

$$Hs0, \text{régimen extremal} = Hs0, \text{régimen medio} * K\alpha$$

5.3 Régimen medio a 5 m de profundidad en el área de actuación

Al aproximar el oleaje a la línea de costa y por tanto disminuir la profundidad de fondo, se producen dos fenómenos que generan variaciones importantes en sus estados de mar. Estos fenómenos son el asomeramiento y refracción. El primero de ellos, el asomeramiento produce una variación en la longitud de onda, celeridad y peralte de la ola. Por otro lado, la refracción concentra o dispersa la energía del oleaje, produciendo una variación en la longitud de onda, celeridad, peralte de ola, y, además, del ángulo de incidencia.

Para el cálculo de las variaciones de Hs y θ_s , se parte de los datos de H_0 , θ_0 y T_p de aguas profundas.



A partir del ángulo θ_0 y la dirección de las batimétricas se obtienen los ángulos de incidencia (θ_{inc}), para lo cual es necesario trazar la perpendicular a las paralelas que forman las líneas batimétricas y medir el ángulo que forma ésta con la dirección impuesta por el estado de mar.

Una vez conocidos los datos de H_0 , θ_{inc} y T_p se puede determinar entonces los valores de H_s y θ_s mediante cualquiera de los siguientes métodos:

1- Usando los ábacos del Shore Protection Manual

Para utilizar estos ábacos es necesario ingresar con el valor de d/gT^2 en las abscisas y el θ_{inc} en las ordenadas, para luego obtener el coeficiente $K_s.k_r$ y el θ_s . (U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1984)

Donde:

$$H_s = (K_s.K_r).H_0$$

$$\theta_s = \theta_s$$

2- Utilizando el software on-line Wave Calculator

Con este método únicamente basta con ingresar para cada estado de mar los valores de H_0 , θ_{inc} y T_p . El software directamente arrojará los datos de H_s y θ_s .

3- Utilizando el método analítico

Para utilizar este método se debe en primer lugar intuir la profundidad relativa a la que se encuentra. Como partida, se considera estar localizados en Transitional Water ($1/25 < d/L < 1/2$).

El método escogido para trabajar es el software on-line Wave Calculator (University of Delaware, s.f.)

	Ho (m)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6		
Dirección batimétricas 90 °		0.03	0.39	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6		
	Tp ponderado (s)	5.039	5.443	6.109	7.024	8.040	8.506	8.775	9.089	9.786	9.952	10.400	Total	
CALMAS	29.34%													29.34%
NE [-56,25°;-33,75°]	θo	-45 °												
	d/gT²	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02		
	θs (°)	-33.091602	-31.090622	-28.17812	-24.873787	-21.953135	-20.820322	-20.215902	-19.551697	-18.218208	-17.926258	-17.181199		
	Kr	0.9186977	0.9086915	0.8956438	0.8828405	0.8731481	0.869774	0.8680589	0.8662409	0.8627993	0.8620823	0.8603129		
	Ks	0.9181363	0.9268819	0.947116	0.9817368	1.0245849	1.0449381	1.0567826	1.0706575	1.1015078	1.1088456	1.1285988		
	Kr*Ks	0.84	0.84	0.85	0.87	0.89	0.91	0.92	0.93	0.95	0.96	0.97		
	Hs	0.4217449	0.8422497	1.2724178	1.7334339	2.2365359	2.7265801	3.2107232	3.7097893	4.2767107	4.7795808	5.825688639		
Probabilidad(%)	1.921	4.933	2.677	1.09	0.514	0.224	0.155	0.086	0.024	0.01	0.028	11.66%		
ENE [-33,75°;-11,25°]	θo	-22.5 °												
	d/gT²	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02		
	θs (°)	-17.18643	-16.228573	-14.806798	-13.158071	-11.672958	-11.090656	-10.778634	-10.434724	-9.741181	-9.588812	-9.199555		
	Kr	0.9833922	0.980928	0.9775543	0.9740582	0.9712828	0.9702898	0.9697795	0.9692346	0.9681915	0.9679723	0.96742845		
	Ks	0.9181363	0.9268819	0.947116	0.9817368	1.0245849	1.0449381	1.0567826	1.0706575	1.1015078	1.1088456	1.1285988		
	Kr*Ks	0.90	0.91	0.93	0.96	1.00	1.01	1.02	1.04	1.07	1.07	1.09		
	Hs	0.4514441	0.9092044	1.3887859	1.9125375	2.4879043	3.0416782	3.5869614	4.1508732	4.7991172	5.3666591	6.551031527		
Probabilidad(%)	4.005	7.34	3.353	1.445	0.697	0.276	0.183	0.093	0.034	0.014	0.01	17.45%		
E [-11,25°;11,25°]	θo	0 °												
	d/gT²	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02		
	θs (°)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Kr	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Ks	0.9181363	0.9268819	0.947116	0.9817368	1.0245849	1.0449381	1.0567826	1.0706575	1.1015078	1.1088456	1.1285988		
	Kr*Ks	0.92	0.93	0.95	0.98	1.02	1.04	1.06	1.07	1.10	1.11	1.13		
	Hs	4.6267376	5.045015	5.7858348	6.8961966	8.2380022	8.8884241	9.272977	9.7312116	10.779041	11.035654	11.73742752		
Probabilidad(%)	4.967	5.012	1.09	0.348	0.103	0.028	0.017	0.007	0	0	0	11.57%		
ESE [11,25°;33,75°]	θo	22.5 °												
	d/gT²	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02		
	θs (°)	17.18643	16.22857	14.8068	13.15807	11.67296	11.090656	10.778634	10.434724	9.741181	9.588812	9.199555		
	Kr	0.9833922	0.980928	0.9775543	0.9740582	0.9712828	0.9702898	0.9697795	0.9692346	0.9681915	0.9679723	0.96742845		
	Ks	0.9181363	0.9268819	0.947116	0.9817368	1.0245849	1.0449381	1.0567826	1.0706575	1.1015078	1.1088456	1.1285988		
	Kr*Ks	0.90	0.91	0.93	0.96	1.00	1.01	1.02	1.04	1.07	1.07	1.09		
	Hs	0.4045696	0.3745613	0.3337322	0.2902328	0.2535637	0.2396772	0.2323419	0.2243079	0.208338	0.2048491	0.196032306		
Probabilidad(%)	4.898	3.439	0.448	0.1	0.017	0.014	0.003	0.003	0	0	0	8.92%		
SE [33,75°;56,25°]	θo	45 °												
	d/gT²	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02		
	θs (°)	33.0916	31.09062	28.17812	24.87379	21.95314	20.82032	20.2159	19.5517	18.21821	17.92626	17.181199		
	Kr	0.9186977	0.9086915	0.8956438	0.8828405	0.8731481	0.869774	0.8680589	0.8662409	0.8627993	0.8620823	0.8603129		
	Ks	0.9181363	0.9268819	0.947116	0.9817368	1.0245849	1.0449381	1.0567826	1.0706575	1.1015078	1.1088456	1.1285988		
	Kr*Ks	0.84	0.84	0.85	0.87	0.89	0.91	0.92	0.93	0.95	0.96	0.97		
	Hs	4.2505732	4.5843621	5.182047	6.0882413	7.192996	7.7309205	8.0494898	8.4295735	9.3001487	9.5136418	10.09786031		
Probabilidad(%)	5.595	4.405	0.269	0.041	0.007	0	0	0	0	0	0	10.32%		
SSE [56,25°;78,75°]	θo	67.5 °												
	d/gT²	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02		
	θs (°)	45.509	42.431	38.096	33.33735	29.23915	27.67158	26.83959	25.9286	24.10937	23.71269	22.7039		
	Kr	0.7389622	0.7200533	0.697329	0.6767991	0.6622395	0.6573477	0.6548935	0.6523159	0.6475	0.646507	0.64407116		
	Ks	0.9181363	0.9268819	0.947116	0.9817368	1.0245849	1.0449381	1.0567826	1.0706575	1.1015078	1.1088456	1.1285988		
	Kr*Ks	0.68	0.67	0.66	0.66	0.68	0.69	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73		
	Hs	3.4189843	3.6326795	4.0346306	4.6673396	5.4555305	5.8427851	6.0728124	6.3478241	6.9794288	7.1346271	7.559738558		
Probabilidad(%)	3.732	5.64	1.228	0.124	0.003	0	0	0	0	0	0	10.73%		
Total		25.12%	30.77%	9.07%	3.15%	1.34%	0.54%	0.36%	0.19%	0.06%	0.02%	0.04%	100%	

Tabla 8. Propagación régimen medio a profundidad 5 metros a partir del software on-line Wave Calculator.

Cada sector direccional está representado en un color y cada propagación también está sombreada con un color que indica cuál es el sector direccional en el que tiene que considerarse su probabilidad una vez propagada.

Los resultados de la propagación se plasman en la siguiente tabla de alturas de ola significativa direcciones ya propagada, en la que en cada celda se indica la probabilidad de que la altura de ola propagada esté el correspondiente rango de alturas de ola y direcciones.

	Hs (m)												
	0.200	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	TOTAL
Calm.	29.34%												29.34%
NE													0.00%
ENE		5.926	12.273	6.030	2.535	1.211	0.224	0.155	0.086	0.024	0.010	0.028	28.50%
E		4.967	5.012	1.090	0.348	0.103	0.318	0.203	0.103	0.034	0.014	0.010	12.20%
ESE		10.493	7.844	0.717	0.265	0.027							19.35%
SE		3.732	5.640	1.228									10.60%
SSE													0.00%
TOTAL	29.34%	25.12%	30.77%	9.07%	3.15%	1.34%	0.54%	0.36%	0.19%	0.06%	0.02%	0.04%	99.99%

Tabla 9. Probabilidades de altura de ola por direcciones propagada a 5 m de profundidad

Los nuevos valores obtenidos tras la propagación se agrupan según las clases originales de altura de ola y dirección sumándose las probabilidades si oleajes de distinta procedencia confluyen tras la propagación en la misma clase.

La probabilidad de incidencia de oleaje será:

DIRECCIONES	PROBABILIDAD (%)
CALMAS	29.34
NE	0.00
ENE	28.50
E	12.20
ESE	19.35
SE	10.60
SSE	0.00
TOTAL	99.99

Tabla 10. Probabilidad de incidencia de oleaje

Se calcula la probabilidad acumulada (probabilidades de no superación de altura de ola) mediante la siguiente tabla:

	Hs (m)												
	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	TOTAL
Calm	29.34												29.34
NE		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ENE		5.92	18.2	24.23	26.76	27.98	28.20	28.35	28.44	28.46	28.47	28.50	28.50
E		4.96	9.97	11.07	11.42	11.52	11.84	12.04	12.14	12.18	12.19	12.20	12.20
ESE		10.49	18.3	19.05	19.32	19.35	19.35	19.35	19.35	19.35	19.35	19.35	19.35
SE		3.73	9.37	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60
SSE		0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
TOTAL	29.34	25.12	55.89	64.95	68.10	69.44	69.98	70.34	70.53	70.59	70.61	70.65	100%

Tabla 11. Probabilidades de altura de ola acumulada por direcciones propagada a d = 5 m

Obteniendo las probabilidades condicionadas para cada dirección, se obtiene la tabla 12 en la que cada valor de las celdas intersección columnas (altura de ola) con filas (dirección) contiene el valor de la probabilidad en tanto por cien (tabla 12) de que la altura de ola no sea superada dado que procede de esa dirección.

	Hs (m)												
	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	TOTAL
Calm	29.34												29.34
NE		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ENE		20.79	63.85	85.01	93.90	98.15	98.94	99.48	99.78	99.87	99.90	100.0	28.50
E		40.71	81.78	90.72	93.57	94.41	97.02	98.68	99.53	99.80	99.92	100.0	12.20
ESE		54.24	94.78	98.49	99.86	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	19.35
SE		35.21	88.42	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	10.60
SSE		0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
TOTAL	29.42	25.12	55.89	64.95	68.10	69.44	69.98	70.34	70.52	70.56	70.57	70.57	100%

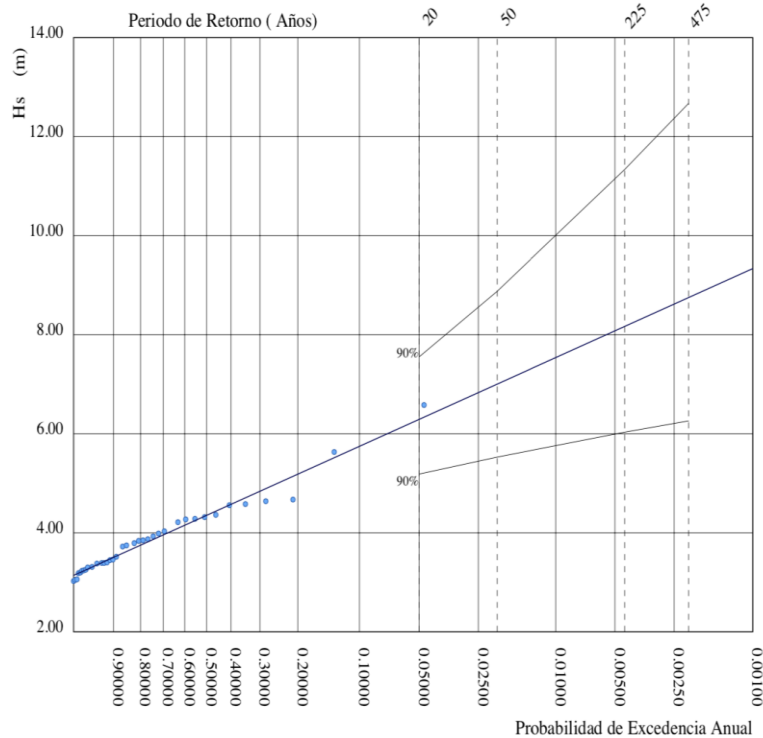
Tabla 12. Probabilidades de no excedencia en tanto por cien por direcciones a d = 5 m

5.4 Valores asociados a periodos de retorno de 70 años a profundidad de 5 m

Utilizando la gráfica obtenida por el régimen extremal de oleaje en la página de puertos del estado, se hallan las alturas de ola correspondientes al periodo de retorno de 70 años. Para la obtención de estos valores se pueden utilizar dos métodos, tomando gráficamente valores de alturas de ola correspondientes a los valores de los periodos a estudiar considerando una linealidad en la banda superior del 90%, o numéricamente con los parámetros dados de la función que se ajusta a la serie de datos, y de ahí obtener los percentiles correspondientes para obtener la ecuación de la función de la banda superior del 90% que relaciona las alturas de ola con los periodos de retorno.

El gráfico con el ajuste de los valores extremos a una distribución Weibull, la intersección de la banda superior con una línea vertical permite estimar las alturas de retorno, y por tanto, valora la incertidumbre.

LUGAR : Valencia
 PARÁMETRO : Altura Significante SERIE ANALIZADA : Sep. 2005 - Nov. 2017
 PROFUNDIDAD : 230.0



P. de Retorno (Años)	20.00	50.00	225.00	475.00
Estima Central de Hs (m)	6.30	7.01	8.17	8.76
Banda Sup. 90% Hs	7.55	8.88	11.34	12.68
Valor Esperado de Tp (s)	11.20	11.98	13.22	13.81
Prob. de Exc. en 20 Años	0.64	0.33	0.09	0.04
Prob. de Exc. en 50 Años	0.92	0.64	0.20	0.10

Figura 8. Gráfica (Hs, Periodo de retorno, Probabilidad de excedencia anual). Fuente Puertos del Estado

Mediante el método analítico, con el uso de los parámetros del ajuste POT de Altura significativa, se puede conseguir el valor de la altura de retorno siguiendo la siguiente ecuación:

$$Hr = \beta * \left(-\ln \left(\frac{1}{\lambda T_r} \right) \right)^{\frac{1}{\gamma}} + \alpha$$

El resultado es el siguiente:

T	Hs (m)
70	7.289

Tabla 13. Alturas de ola correspondiente al periodo de retorno de 70.

A continuación, se procede a calcular las alturas de ola de cálculo en régimen extremal multiplicando la altura de ola escalar por el coeficiente direccional correspondiente a la dirección de interés, y luego se obtienen los períodos pico con las distintas alturas obtenidas para poder obtener las alturas de ola y los ángulos correspondientes tras la propagación mediante el software “wave Calculator” (University of Delaware, s.f.).

La relación entre Altura de ola Significante (m) y Periodo Pico es la siguiente:

$$Tp = 3.48 Hs^{0.63}$$

La Tabla 14 recoge los datos de giro y altura de ola obtenidos en el software “wave Calculator”.

DIRECCIONES	INPUT					
	K α	HT70	HT70*K α	Ts	θ	H
NE	1.000	7.290	7.290	12.164	14.759	4.0 breaking
ENE	0.867	7.290	6.317	11.115	8.638	4.0 breaking
E	0.526	7.290	3.832	8.112	0.000	3.938
ESE	0.302	7.290	2.204	5.726	15.600	2.018
SE	0.334	7.290	2.433	6.093	28.243	2.063291
SSE	0.375	7.290	2.737	6.563	35.584	1.809

Tabla 14. Valores asociados a periodos de retorno de 70 años para profundidad de 5m

6. CONCLUSIONES

Para la determinación del clima marítimo se ha considerado una profundidad de 5 metros representativa de las condiciones próximas a las obras de protección costera.

Simplificando los cálculos de propagación de oleaje, se adopta una batimetría recta y paralela a la costa debido a las condiciones oceanográficas y la regularidad de la costa de actuación, y luego se definen las direcciones de procedencia de oleaje a considerar. La propagación del oleaje considera los efectos del asomeramiento, refracción y rotura.

En el régimen medio del oleaje cabe destacar que, respecto a las probabilidades de altura de ola definida para cada dirección de procedencia de oleaje, la mayor probabilidad de oleaje superior a 5m se encuentra en la dirección NE, en la cual la probabilidad es del 0.028%.

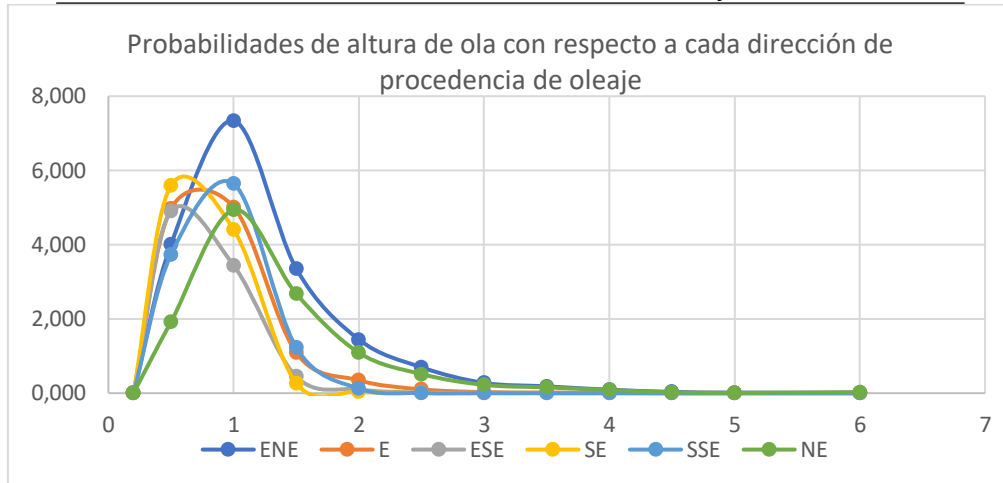


Figura 9. Gráfico comparativo de probabilidades de altura de ola con respecto a cada dirección de procedencia de oleaje

En relación a las probabilidades de altura de ola propagada a 5 m de profundidad, el mayor porcentaje de oleaje corresponde a calmas (29,34%). Además, tienen una mayor relevancia las direcciones ENE (28,50%), E (12,20%), y ESE (19,35%), sumando entre las tres direcciones aproximadamente el 60% de las probabilidades.

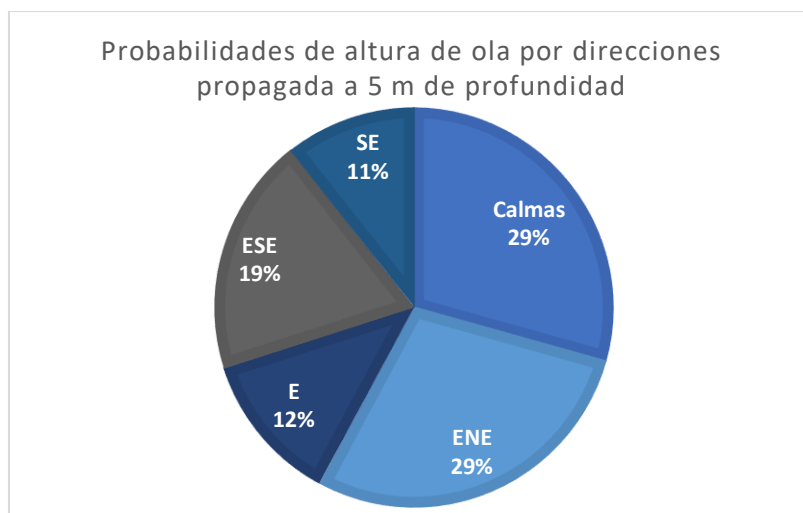


Figura 10. Gráfico comparativo de las probabilidades de altura de ola por direcciones propagada a 5 m de profundidad

En lo relativo al régimen extremal, se puede concluir que los oleajes más grandes para el periodo de retorno de 70 años (profundidad 5 m) proviene del E, con una altura de ola de 3.938m.

DIRECCIONES	INPUT					
	K α	HT70	HT70*K α	Ts	Θ	H
NE	1.000	7.290	7.290	12.164	14.759	4.0 breaking
ENE	0.867	7.290	6.317	11.115	8.638	4.0 breaking
E	0.526	7.290	3.832	8.112	0.000	3.938
ESE	0.302	7.290	2.204	5.726	15.600	2.018
SE	0.334	7.290	2.433	6.093	28.243	2.063291
SSE	0.375	7.290	2.737	6.563	35.584	1.809

Tabla 15. Tabla conclusión de valores asociados a periodos de retorno de 70 años para profundidad de 5m