

Anejo 5: Clima marítimo y dinámica litoral

**Estudio de soluciones para la reordenación
interior y ampliación del puerto deportivo de la Vila
Joiosa (T.M. La Vila Joiosa)**

Álvaro Olmos Pérez

París, mayo del 2023



Índice

1.	Objeto.....	7
2.	Régimen de vientos	8
2.1.	Datos climáticos de invierno.....	10
2.2.	Datos climáticos de primavera	12
2.3.	Datos climáticos de verano	14
2.4.	Datos climáticos de otoño	16
3.	Clima marítimo	18
4.	Oleaje. Características.....	21
4.1.	Régimen extremal.....	21
4.1.1.	Dirección del oleaje en periodo invernal	21
4.1.2.	Dirección del oleaje en periodo primaveral.....	22
4.1.3.	Dirección del oleaje en periodo estival	23
4.1.4.	Dirección del oleaje en periodo otoñal	24
4.1.5.	Altura de ola significativa.....	24
4.1.6.	Periodo pico.....	25
5.	Propagación del oleaje	26
5.1.	Régimen extremal.....	26
5.1.1.	Oleaje de orientación noreste.....	28
5.1.2.	Oleaje de orientación este.....	28
5.1.3.	Oleaje de orientación suroeste	29
5.1.4.	Conclusión de los resultados	30
6.	Bibliografía	32



Índice de figuras

Figura 1: Plano de situación del puerto y la boya de estudio	8
Figura 2: Rosa de los vientos para el periodo invernal (diciembre-febrero)	10
Figura 3: Relación velocidad-frecuencia en periodo invernal.....	11
Figura 4: Rosa de los vientos para el periodo primaveral (marzo-mayo)	12
Figura 5: Relación velocidad-frecuencia en periodo primaveral.....	13
Figura 6: Rosa de los vientos para el periodo estival (junio-agosto)	14
Figura 7: Relación velocidad-frecuencia en periodo estival.....	15
Figura 8: Rosa de los vientos para el periodo otoñal (septiembre-noviembre)	16
Figura 9: Relación velocidad-frecuencia en periodo otoñal.....	17
Figura 10: Clima marítimo en el litoral español. (I)	19
Figura 11: Clima marítimo en el litoral español. (II).....	20
Figura 12: Rosa de altura significativa para oleaje en periodo invernal	21
Figura 13: Rosa de altura significativa para oleaje en periodo primaveral.....	22
Figura 14: Rosa de altura significativa para oleaje en periodo estival	23
Figura 15: Rosa de altura significativa para oleaje en periodo otoñal	24
Figura 16: gráfica Hs-Probabilidad de excedencia-Periodo de retorno en régimen escalar	25
Figura 17: Ángulos de incidencia respecto a la perpendicular de la costa.....	27
Figura 18: Batimétricas en alta mar	27
Figura 19: Correlaciones entre altura de ola y periodo en temporales	28

Índice de tablas

Tabla 1: Datos sobre la boya de estudio	9
Tabla 2: Velocidad Media (Ve) - Dirección de Procedencia en % (invierno)	11
Tabla 3: Velocidad Media (Ve) - Dirección de Procedencia en % (primavera).....	13
Tabla 4: Velocidad Media (Ve) - Dirección de Procedencia en % (verano)	15
Tabla 5: Velocidad Media (Ve) - Dirección de Procedencia en % (otoño)	17
Tabla 6: Características del oleaje de dirección este.....	29
Tabla 7: Altura de ola para diferentes profundidades (Este).....	29
Tabla 8: Características del oleaje de componente suroeste	30
Tabla 9: Altura de ola para diferentes profundidades (Suroeste)	30



1. Objeto

El objeto de realizar un estudio sobre el clima marítimo y la dinámica litoral en relación con las obras de abrigo del puerto de La Vila Joiosa es proporcionar información clave para la elaboración de una solución efectiva y duradera. Este tipo de estudios son esenciales para comprender los procesos naturales que ocurren en el entorno marino y costero, y su influencia en la infraestructura portuaria.

Concretamente se incidirá particularmente en los siguientes aspectos:

Evaluación del clima marítimo: El estudio permite analizar las condiciones meteorológicas y oceanográficas prevalecientes en la zona marítima cercana al puerto. Esto incluye el análisis de las mareas, corrientes, vientos, oleaje y otros parámetros relevantes. Comprender estas condiciones es fundamental para determinar la exposición del puerto a eventos climáticos extremos, como tormentas o marejadas, y evaluar cómo afectarían a la infraestructura existente.

Dinámica litoral y sedimentación: La dinámica litoral estudia los procesos de erosión y sedimentación en la costa. Esto implica analizar la dirección y la velocidad del transporte de sedimentos, así como los cambios en la línea de costa a lo largo del tiempo. Este conocimiento es esencial para comprender cómo estos procesos pueden afectar a las obras de abrigo del puerto, como la acumulación de sedimentos que podrían obstruir los canales de navegación o la erosión que podría comprometer la estabilidad de las estructuras, así como conocer cual es el posible impacto ambiental que pudiera ocasionar.

No se debe olvidar cual es el impacto de las obras en la sostenibilidad y durabilidad; el análisis del clima marítimo y la dinámica litoral contribuye a garantizar que las obras de abrigo sean sostenibles y duraderas a largo plazo. Al comprender cómo los factores ambientales afectan el entorno costero, se pueden tomar medidas adecuadas para minimizar los impactos negativos y preservar la salud del ecosistema marino.

La información de este estudio estará proporcionada principalmente por la web oficial de Puertos del Estado.

2. Régimen de vientos

Para el estudio del régimen de vientos se emplearán los datos de la boya de Cabo de Palos, según el Banco de Datos Oceanográficos de Puertos del Estado, debido a que es la boya que se halla más próxima al puerto.



Figura 1: Plano de situación del puerto y la boya de estudio

El conjunto de datos de la Red Exterior está formado por las medidas procedentes de la Red de Boyas de Aguas Profundas de Puertos del Estado, también denominada Red Exterior. Esta red unifica, amplía y actualiza las antiguas redes de boyas RAYO y EMOD.

Las boyas de esta red se caracterizan por estar fondeadas lejos de la línea de costa a gran profundidad (más de 200 metros de profundidad). Por tanto, las medidas de oleaje de estos sensores no están perturbadas por efectos locales. Por ello, cada boya proporciona observaciones representativas de grandes zonas litorales.

Esta red está compuesta por boyas de tipo Wavescan y SeaWatch. Todas las boyas con independencia del modelo producen datos con cadencia horaria. No obstante, los parámetros de oleaje se han calculado sobre series de desplazamientos registradas en intervalos inferiores a una hora. En concreto para esta red el periodo de medida es de, aproximadamente, 30 minutos. De modo análogo, los valores de velocidad media del viento están calculados sobre periodos de 10 minutos. En todos los casos la velocidad del viento se mide a 3 metros sobre la superficie libre del mar.

A continuación, se mostrarán los datos más importantes de la boya:

Conjunto de Datos	Red exterior
Boya	Boya de Cabo de Palos
Longitud	-0.310 E
Latitud	37.650 N
Profundidad	230.000

Tabla 1: Datos sobre la boya de estudio

Una vez definida la boya de estudio, se mostrarán las mediciones de vientos mediante las Rosas de los Vientos y también mediante los Histogramas de dirección de procedencia y sus velocidades más frecuentes, para las diferentes estaciones del año en el periodo de tiempo ofrecida por la boya en Régimen Medio, en este caso entre julio de 2006 y noviembre de 2021.

2.1. Datos climáticos de invierno

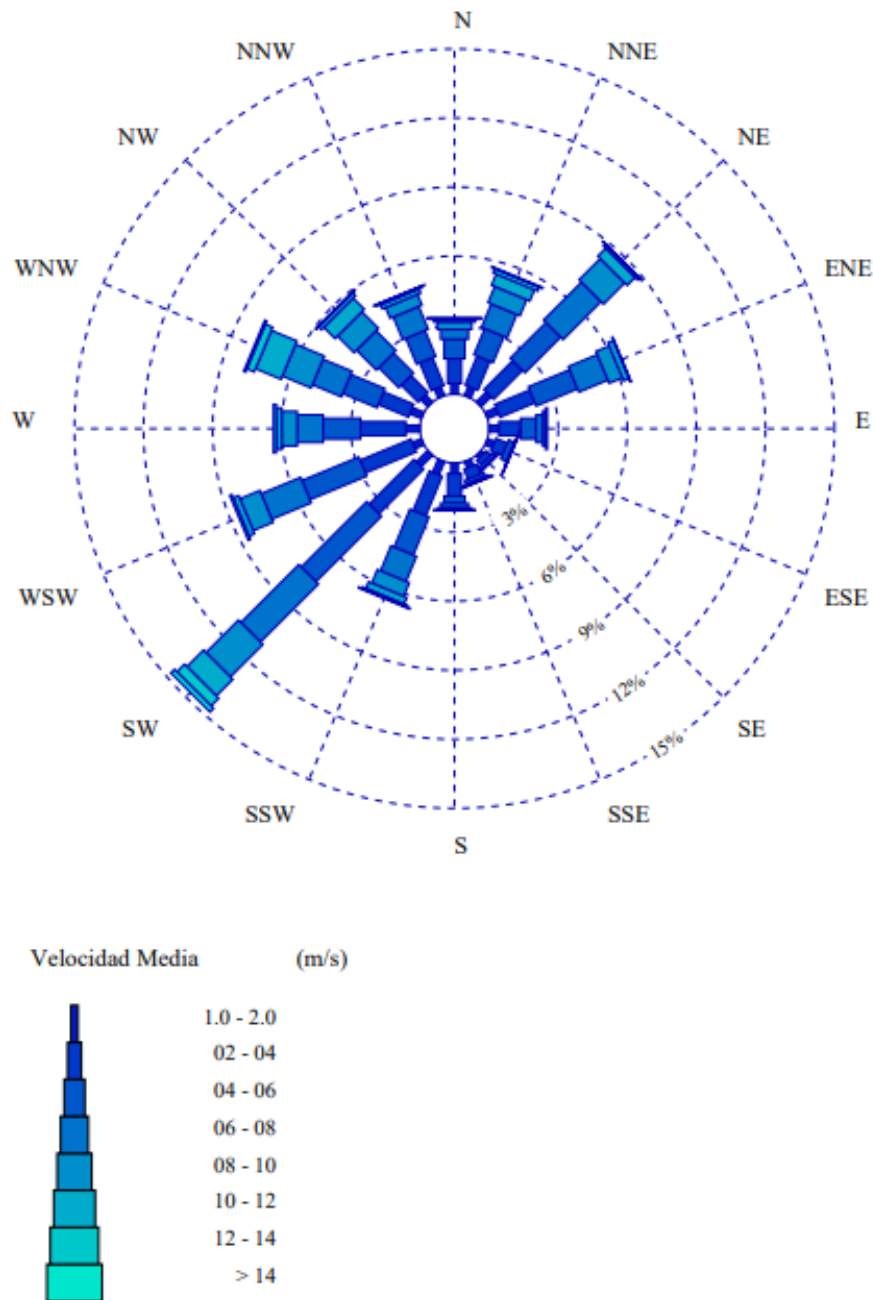


Figura 2: Rosa de los vientos para el periodo invernal (diciembre-febrero)

Observando la Rosa de los vientos podemos sacar diferentes conclusiones. En primer lugar, apreciamos que la gran mayoría de los vientos provienen del sur oeste, así como el noreste y en parte del oeste-noroeste, aunque en menor medida.

Para conocer cuál es la componente de mayor velocidad y en mayor proporción de manera que podamos dimensionar correctamente, emplearemos la siguiente tabla ofrecida de igual manera por el informe asociado a la boya de estudio:

Dirección	Ve (m/s)									Total
	≤ 1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	> 14.0	
CALMAS	13.707									13.707
N 0.0		.464	1.078	.847	.423	.333	.101	.040	.020	3.306
NNE 22.5		.433	1.361	1.230	1.099	.756	.524	.181	.050	5.634
NE 45.0		.605	1.774	2.197	2.328	1.300	.484	.101	.020	8.809
ENE 67.5		.514	1.643	1.945	1.361	.625	.252	.030	-	6.370
E 90.0		.433	.937	.675	.282	.121	.081	-	-	2.530
ESE 112.5		.323	.544	.262	.040	-	-	.010	-	1.179
SE 135.0		.161	.282	.161	.040	-	-	-	-	.645
SSE 157.5		.302	.454	.171	.081	.030	-	-	-	1.038
S 180.0		.454	.978	.312	.202	.081	.030	-	-	2.056
SSW 202.5		.625	1.854	1.784	1.179	.635	.302	.060	.050	6.491
SW 225.0		.695	2.741	4.021	3.558	1.996	1.018	.464	.222	14.715
WSW 247.5		.413	2.399	2.671	1.854	.937	.252	.101	-	8.627
W 270.0		.615	1.965	1.623	1.129	.665	.242	.121	-	6.360
WNW 292.5		.544	1.411	1.613	1.361	1.351	1.199	.343	.091	7.912
NW 315.0		.433	1.038	1.230	1.220	1.018	.685	.171	.050	5.846
NNW 337.5		.413	1.310	1.209	1.068	.504	.191	.071	.010	4.777
Total	13.707	7.428	21.770	21.951	17.224	10.351	5.362	1.693	.514	100%

Tabla 2: Velocidad Media (Ve) - Dirección de Procedencia en % (invierno)

A la vista de la tabla que nos muestra la velocidad media y su dirección de procedencia en porcentaje, podemos comprobar que efectivamente la componente suroeste que en principio era la que generaba mayor cantidad de vientos en volumen, es también la que posee la componente de mayor velocidad en proporción. De igual manera, será importante tener en cuenta también la componente oeste-noroeste ya que su valor de máxima velocidad es el segundo más significativo.

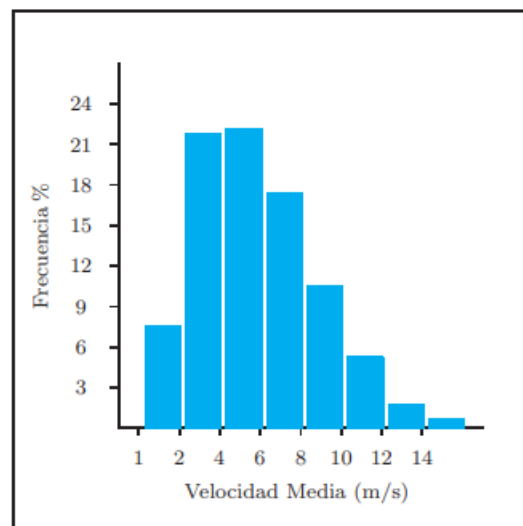


Figura 3: Relación velocidad-frecuencia en periodo invernal

La velocidad más habitual del viento se encuentra entre 2 y 8 m/s en invierno.

2.2. Datos climáticos de primavera

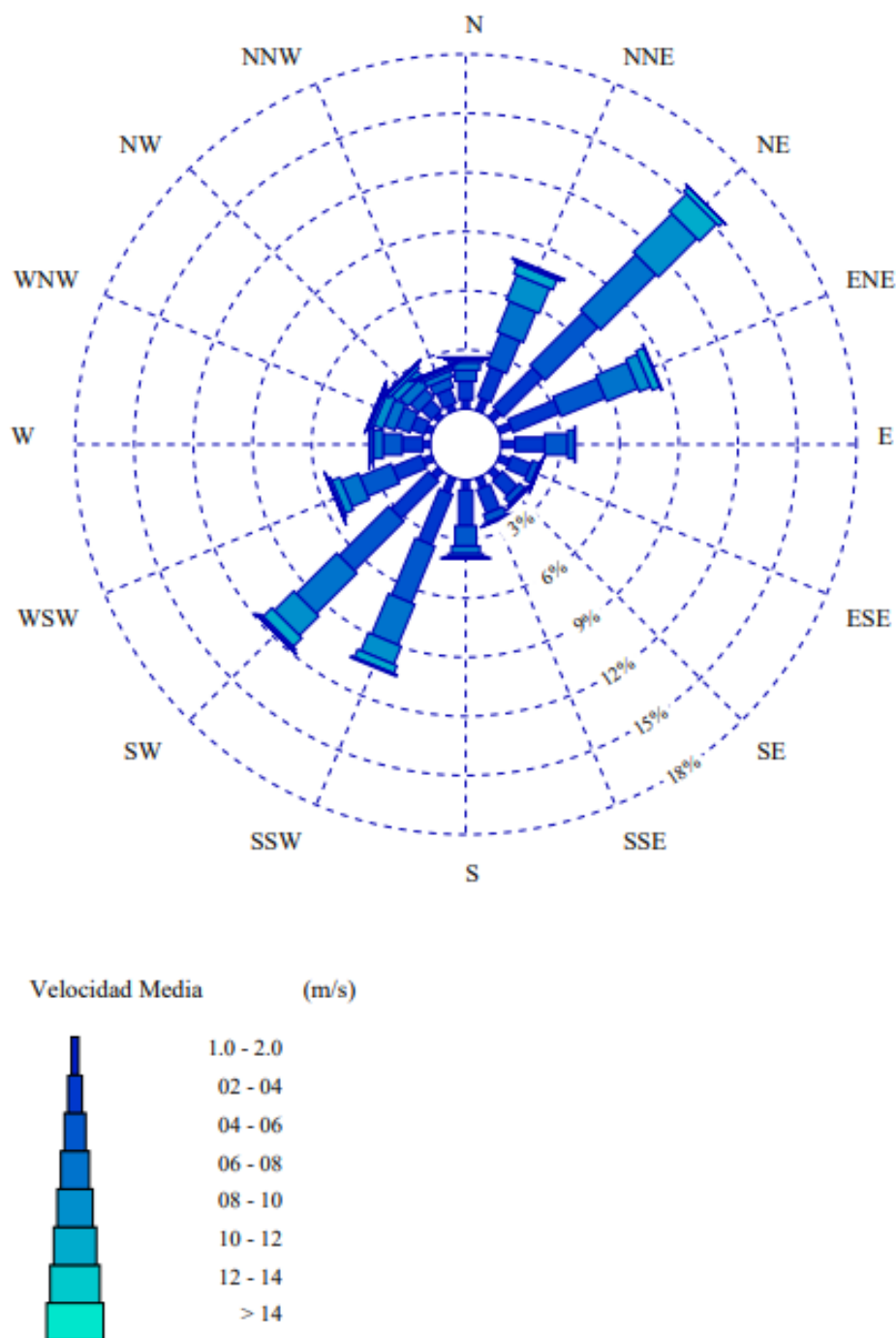


Figura 4: Rosa de los vientos para el periodo primaveral (marzo-mayo)

En el caso del periodo primaveral la mayor cantidad de vientos en volumen proceden del noreste, aunque la componente suroeste y sur-suroeste es también significativa.

En la siguiente tabla comprobaremos al igual que en el caso anterior cuál es la componente de mayor valor y con mayor proporción.

Dirección		Ve (m/s)								Total	
		≤ 1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0		> 14.0
CALMAS		12.359								12.359	
N	0.0		.460	.939	.569	.390	.140	.100	.010	.010	2.618
NNE	22.5		.659	1.659	1.778	1.668	1.379	.530	.110	.080	7.863
NE	45.0		.530	2.817	3.797	3.966	2.758	1.239	.300	.020	15.426
ENE	67.5		.659	2.548	2.428	1.718	.629	.420	.070	-	8.472
E	90.0		.699	1.499	1.169	.340	.060	-	-	-	3.767
ESE	112.5		.579	1.069	.360	.080	.020	.010	-	-	2.118
SE	135.0		.480	1.049	.360	.120	.010	-	-	-	2.018
SSE	157.5		.550	1.289	.440	.080	.040	-	-	-	2.398
S	180.0		.520	1.808	1.029	.400	.140	.070	.020	-	3.986
SSW	202.5		.799	2.778	3.117	2.228	.989	.420	.100	-	10.431
SW	225.0		.500	2.678	3.547	2.907	1.389	.619	.120	.060	11.819
WSW	247.5		.500	1.569	1.718	.949	.440	.140	.030	.020	5.365
W	270.0		.370	1.049	.969	.480	.190	.030	.010	-	3.097
WNW	292.5		.340	.709	.749	.589	.500	.150	.100	.020	3.157
NW	315.0		.300	.739	.599	.569	.400	.190	.060	.010	2.867
NNW	337.5		.330	.789	.510	.340	.150	.070	.040	.010	2.238
Total		12.359	8.273	24.988	23.139	16.825	9.232	3.986	.969	.230	100 %

Tabla 3: Velocidad Media (Ve) - Dirección de Procedencia en % (primavera)

En este caso, aunque el mayor volumen de vientos procede del noreste, la componente más fuerte en velocidad y proporción proviene del norte-noreste. Al igual que en invierno, la componente suroeste es grande en volumen de vientos y significativa en su componente de máxima velocidad del viento, siendo la segunda dirección con mayor proporción.

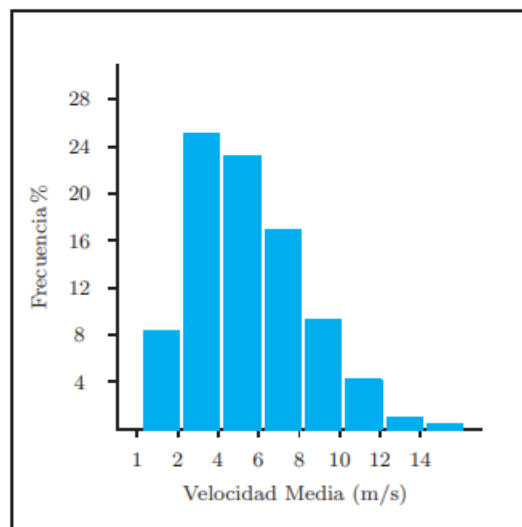


Figura 5: Relación velocidad-frecuencia en periodo primaveral

Para concluir, la velocidad más habitual del viento se encuentra entre 2 y 6 m/s

2.3. Datos climáticos de verano

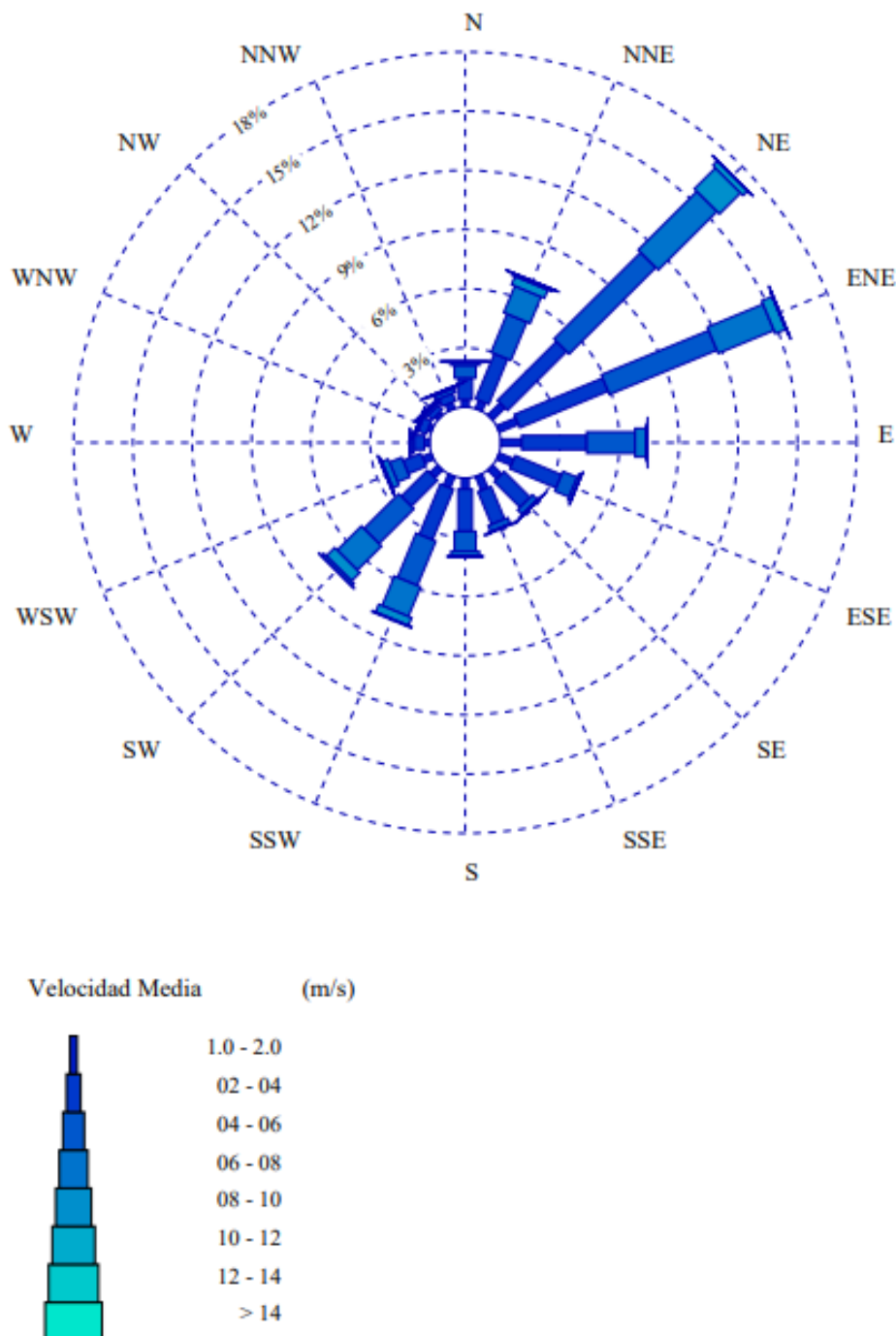


Figura 6: Rosa de los vientos para el periodo estival (junio-agosto)

En el caso del periodo estival la mayor cantidad de los vientos provienen de la componente noreste y este noreste.

A continuación, analizaremos mediante la siguiente tabla cuáles son los valores mayores y con mayor proporción

Dirección	Ve (m/s)									Total
	≤ 1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	> 14.0	
CALMAS	14.838									14.838
N 0.0		.387	1.089	.648	.135	.027	.018	.027	-	2.331
NNE 22.5		.450	2.484	2.106	1.458	.450	.099	.018	.018	7.082
NE 45.0		.873	4.220	6.200	4.193	1.512	.306	.018	.009	17.331
ENE 67.5		1.044	4.832	5.876	3.050	.576	.027	.009	.009	15.423
E 90.0		1.062	3.284	2.448	.558	.063	.009	.009	-	7.433
ESE 112.5		.801	2.529	.783	.153	.009	-	-	-	4.274
SE 135.0		.639	1.845	.342	.045	-	.009	-	-	2.880
SSE 157.5		.756	1.791	.324	.036	.009	-	-	-	2.916
S 180.0		.558	2.142	1.017	.225	.054	-	-	-	3.995
SSW 202.5		.621	2.772	2.430	1.620	.423	.063	-	-	7.928
SW 225.0		.549	1.863	2.493	1.728	.594	.153	.027	-	7.406
WSW 247.5		.486	.972	.666	.333	.081	.009	-	-	2.547
W 270.0		.270	.522	.180	.045	-	-	-	-	1.017
WNW 292.5		.207	.423	.108	.018	.009	-	-	-	.765
NW 315.0		.198	.306	.135	.081	.036	.009	-	-	.765
NNW 337.5		.342	.423	.207	.072	.009	-	.018	-	1.071
Total	14.838	9.241	31.495	25.961	13.750	3.851	.702	.126	.036	100%

Tabla 4: Velocidad Media (Ve) - Dirección de Procedencia en % (verano)

En régimen estival la mayor proporción de vientos fuertes tiene componente norte noreste, aunque en verdad es relativamente pequeña en comparación con los regímenes de primavera y verano. Tanto la componente noreste como la este-noreste son las otras dos componentes de mayor valor en régimen estival.

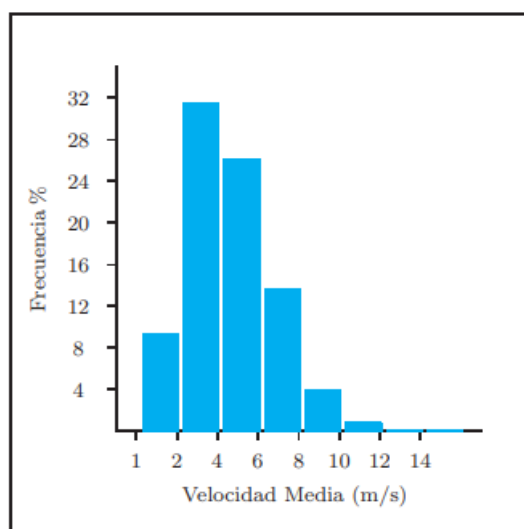


Figura 7: Relación velocidad-frecuencia en periodo estival

En verano la velocidad del viento es claramente menor en proporción, siendo común brisas suaves y moderadas.

2.4. Datos climáticos de otoño

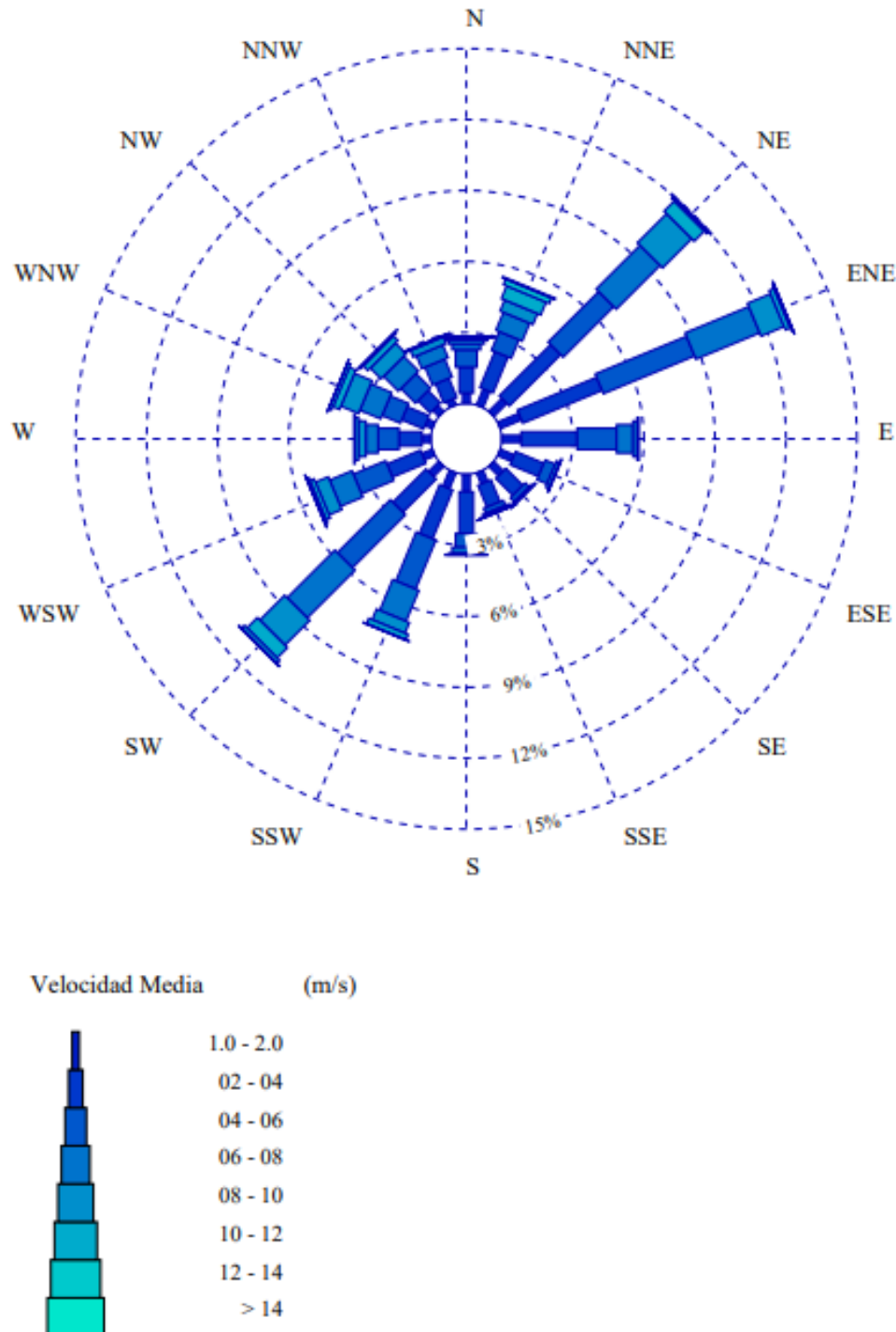


Figura 8: Rosa de los vientos para el periodo otoñal (septiembre-noviembre)

El caso del periodo otoñal, la mayor cantidad de vientos en volumen proceden del noreste y del este-noreste. De nuevo la componente suroeste gana protagonismo al acercarse al periodo invernal

Dirección	Ve (m/s)									Total
	≤ 1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	> 14.0	
CALMAS	13.572									13.572
N 0.0		.436	1.053	.700	.292	.157	.083	.024	.009	2.753
NNE 22.5		.569	1.802	1.492	1.254	.756	.429	.138	.050	6.491
NE 45.0		.702	3.007	3.849	3.284	1.819	.647	.126	.021	13.455
ENE 67.5		.806	3.220	3.683	2.300	.726	.223	.043	.005	11.006
E 90.0		.764	2.065	1.522	.474	.107	.040	.002	-	4.975
ESE 112.5		.590	1.390	.474	.109	.014	.002	.002	-	2.582
SE 135.0		.470	1.070	.275	.066	.012	.002	-	-	1.895
SSE 157.5		.534	1.148	.289	.071	.031	.002	-	-	2.075
S 180.0		.572	1.688	.740	.268	.083	.026	.005	-	3.382
SSW 202.5		.690	2.414	2.390	1.605	.624	.251	.043	.012	8.030
SW 225.0		.586	2.296	3.280	2.734	1.347	.588	.187	.078	11.096
WSW 247.5		.470	1.596	1.601	1.020	.500	.145	.057	.007	5.395
W 270.0		.403	1.105	.892	.526	.285	.102	.043	-	3.356
WNW 292.5		.349	.877	.806	.716	.652	.396	.140	.028	3.965
NW 315.0		.318	.695	.697	.676	.515	.280	.071	.017	3.268
NNW 337.5		.339	.837	.676	.505	.237	.074	.033	.005	2.706
Total	13.572	8.596	26.263	23.366	15.903	7.864	3.292	.913	.232	100 %

Tabla 5: Velocidad Media (Ve) - Dirección de Procedencia en % (otoño)

Observando la tabla podemos comprobar que la componente de mayor velocidad en proporción proviene del suroeste, y la segunda de mayor valor del norte noreste.

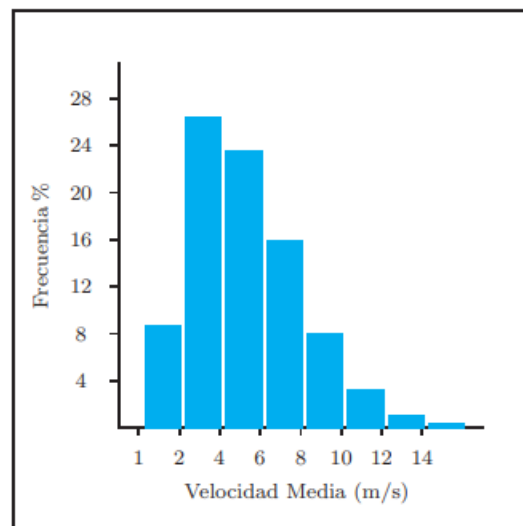


Figura 9: Relación velocidad-frecuencia en periodo otoñal

La situación otoñal en términos de velocidad media nos arroja un resultado similar otoño, aunque con una mayor componente de vientos superiores a 14 m/s.

3. Clima marítimo

Para determinar el clima marítimo en el área del puerto de La Vila Joiosa, se utilizará la ROM 0.3-91 "Oleaje. Anexo I. Clima marítimo en el litoral español".

La metodología empleada se basa en el análisis estadístico de información proveniente de dos fuentes:

- Datos visuales de oleaje en aguas profundas con información direccional, almacenados en la Base de Datos Visuales del CEPYC. Esta base de datos se creó utilizando los datos suministrados por el National Climatic Data Center de Asheville (Carolina del Norte, EE. UU.), los cuales abarcan todas las áreas definidas para la caracterización del clima marítimo del litoral español y comprenden el período entre 1950 y 1985.
- Datos instrumentales escalares de oleaje registrados por boyas de medida pertenecientes a la REMRO.

El anexo de la ROM 0.3-91 presenta el "Atlas marítimo en el litoral español", el cual divide la zona en 10 áreas definidas en base a características climáticas homogéneas, configuración de la costa y ubicación de fuentes de información disponibles. La costa alicantina, donde se encuentra el puerto, está incluida en el área VII.

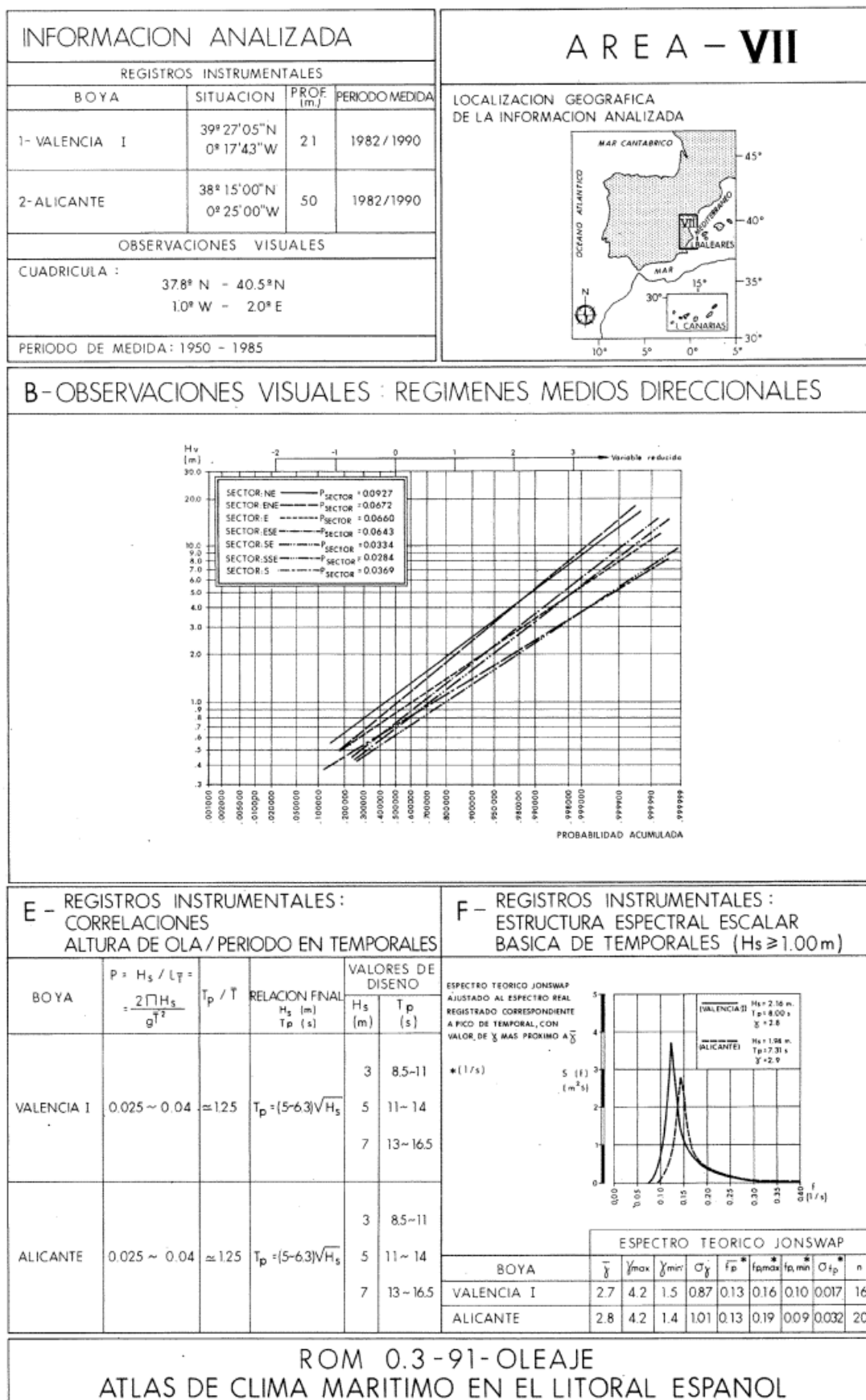


Figura 10: Clima marítimo en el litoral español. (I)

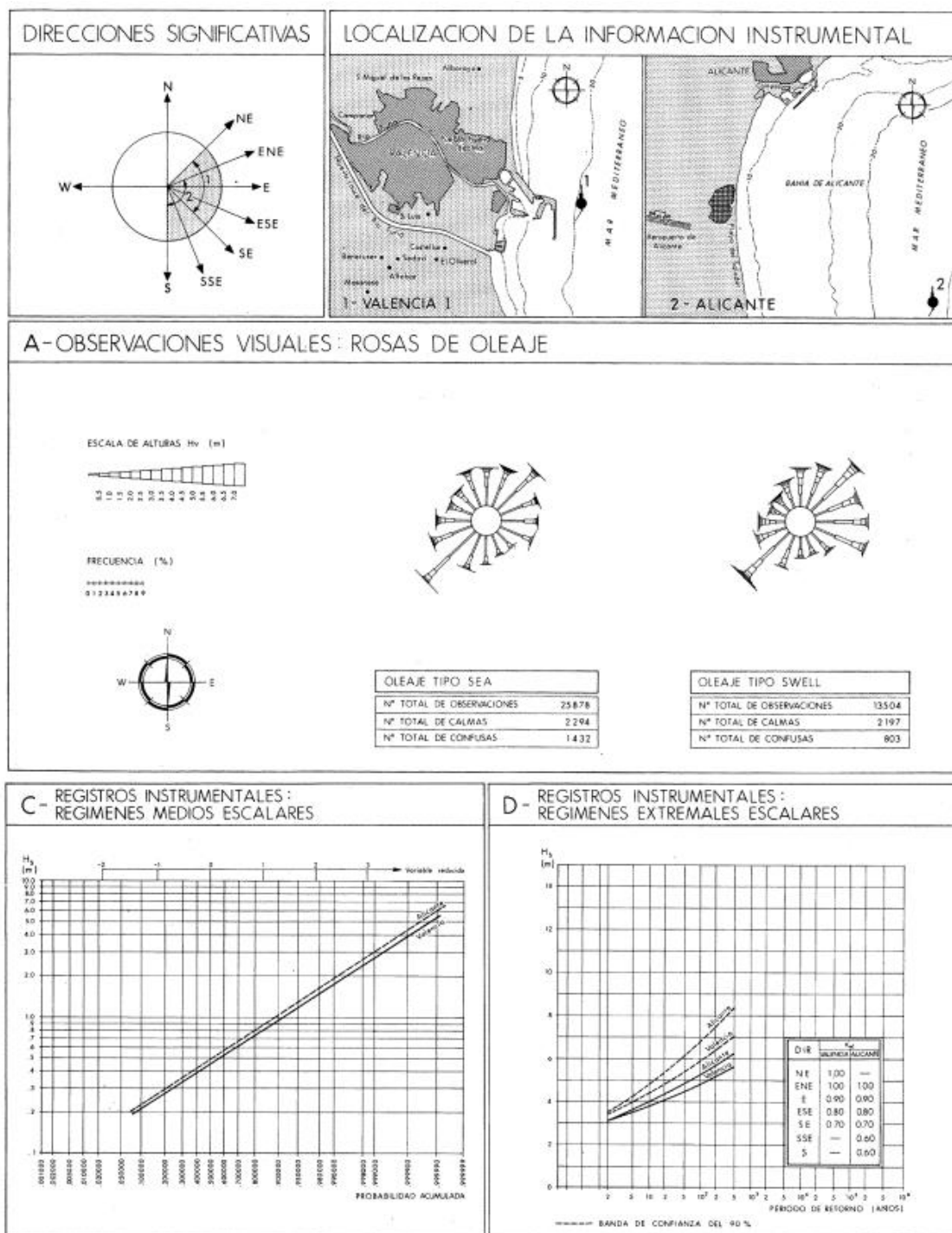


Figura 11: Clima marítimo en el litoral español. (II)

4. Oleaje. Características.

4.1. Régimen extremal

La seguridad y funcionamiento efectivo de un puerto pueden verse afectados por la aparición de situaciones climáticas adversas, como temporales, en los que la altura de las olas alcanza niveles inusuales. Para mitigar el riesgo asociado a estas condiciones, es necesario contar con una estimación de la frecuencia o probabilidad con la que se presentan ciertos valores de altura significativa de las olas.

Un régimen extremal de oleaje se refiere a un modelo estadístico que proporciona información sobre la probabilidad de ocurrencia de un temporal con una determinada altura de riesgo. Este modelo permite describir y evaluar el nivel de riesgo asociado a eventos extremos en términos de su probabilidad de aparición. Al conocer la probabilidad de ocurrencia de estos eventos, se pueden implementar medidas de seguridad y planificación adecuadas para garantizar la operatividad y protección de las instalaciones portuarias en caso de condiciones climáticas adversas.

4.1.1. Dirección del oleaje en periodo invernal

Rosa de Altura Significante (m) para Oleaje - Boya de Cabo de ...
Periodo: Invierno (2006 - 2023) - Eficacia: 87.47%

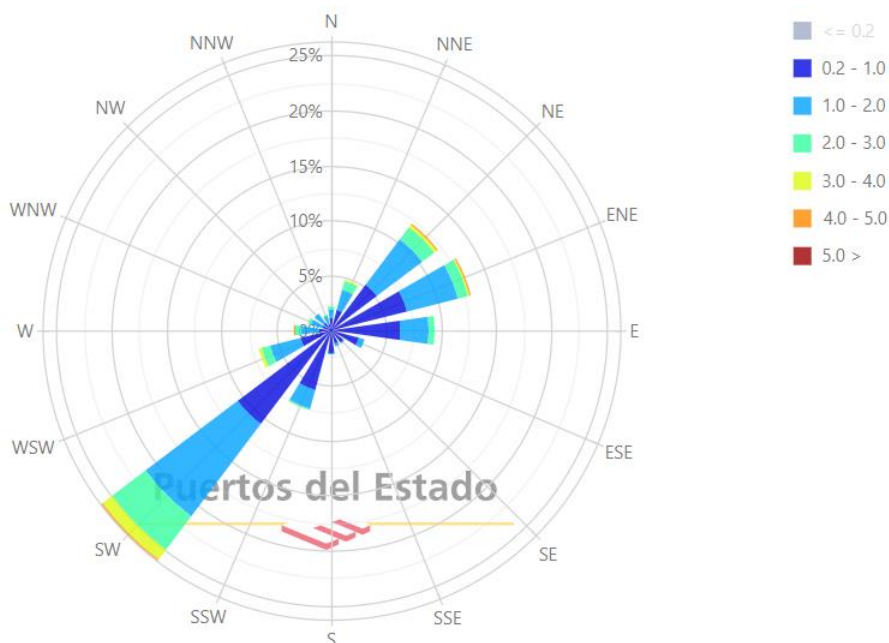


Figura 12: Rosa de altura significativa para oleaje en periodo invernal

En esta gráfica se nos muestra de dónde proviene la mayor parte del oleaje en periodo invernal, en este caso más del 25% del oleaje es originaria de la dirección suroeste, con una componente de altura de ola significativa superior a 5 m también importante. No obstante, el mayor porcentaje de olas superiores a 5 m es de componente norte noreste (0,04%)

4.1.2. Dirección del oleaje en periodo primaveral

Rosa de Altura Significante (m) para Oleaje - Boya de Cabo de ...
Periodo: Primavera (2006 - 2023) - Eficacia: 86.32%

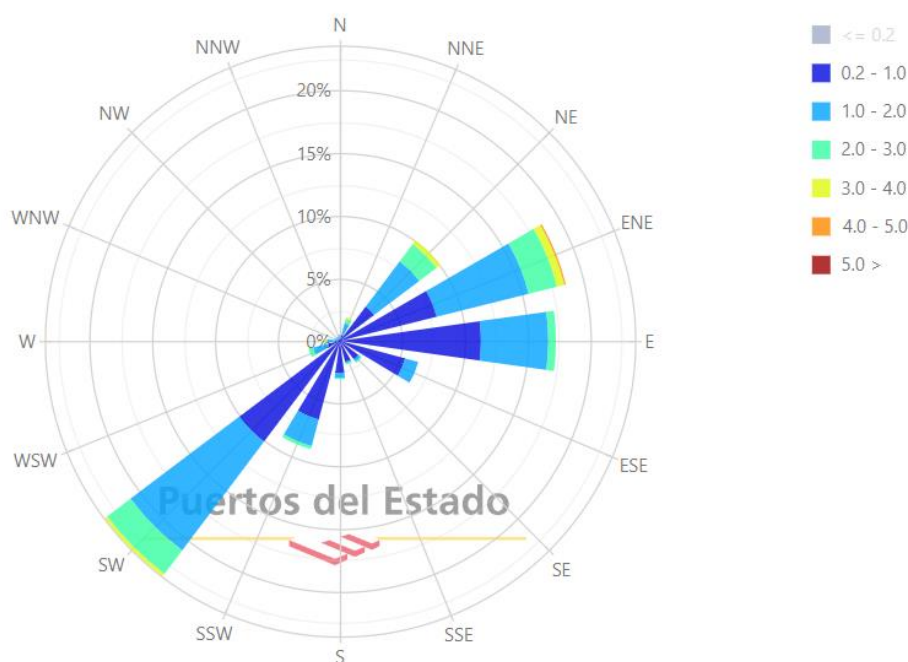


Figura 13: Rosa de altura significativa para oleaje en periodo primaveral

Durante el periodo primaveral al igual que en el periodo invernal la mayor cantidad de oleaje proviene del suroeste, sin despreciar tampoco el oleaje proveniente de las direcciones este y este noreste que juntas suponen más del 30% del oleaje. De hecho, las zonas de mayor altura significativa provienen de la dirección este noreste, siendo el 0,04 por ciento de las olas.

4.1.3. Dirección del oleaje en periodo estival

Rosa de Altura Significante (m) para Oleaje - Boya de Cabo de ...
Periodo: Verano (2006 - 2023) - Eficacia: 89.42%

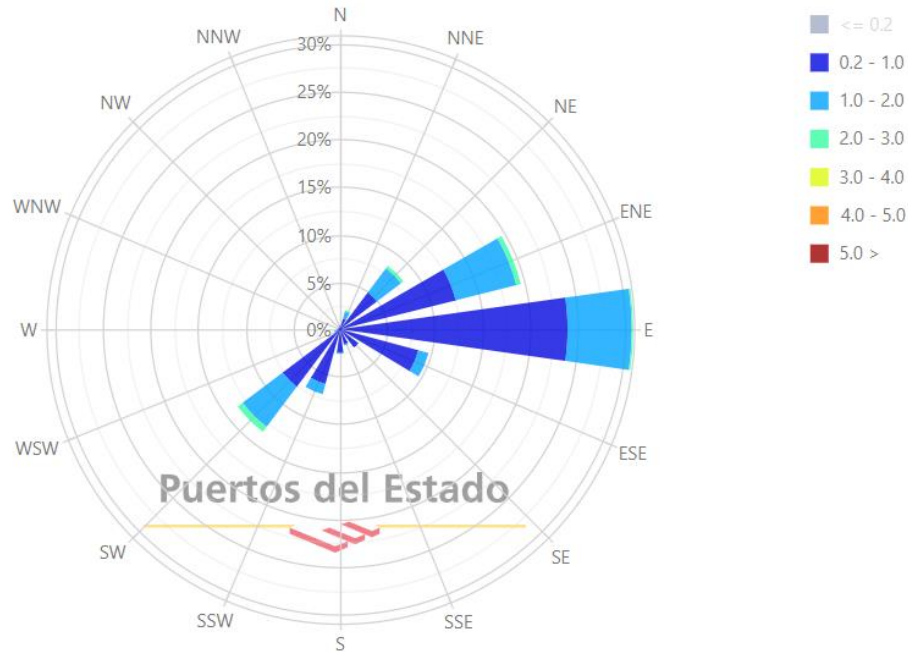


Figura 14: Rosa de altura significativa para oleaje en periodo estival

Durante el periodo estival el mayor porcentaje de oleaje proviene de direcciones este y este noreste, siendo en este caso la componente este noreste la que posee una mayor altura de ola significativa, qué, aunque menor que en otros periodos, se comprende entre los 4 y 5 m, suponiendo un 0,04% del oleaje.

4.1.4. Dirección del oleaje en periodo otoñal

Rosa de Altura Significante (m) para Oleaje - Boya de Cabo de ...
Periodo: Otoño (2006 - 2023) - Eficacia: 91.00%

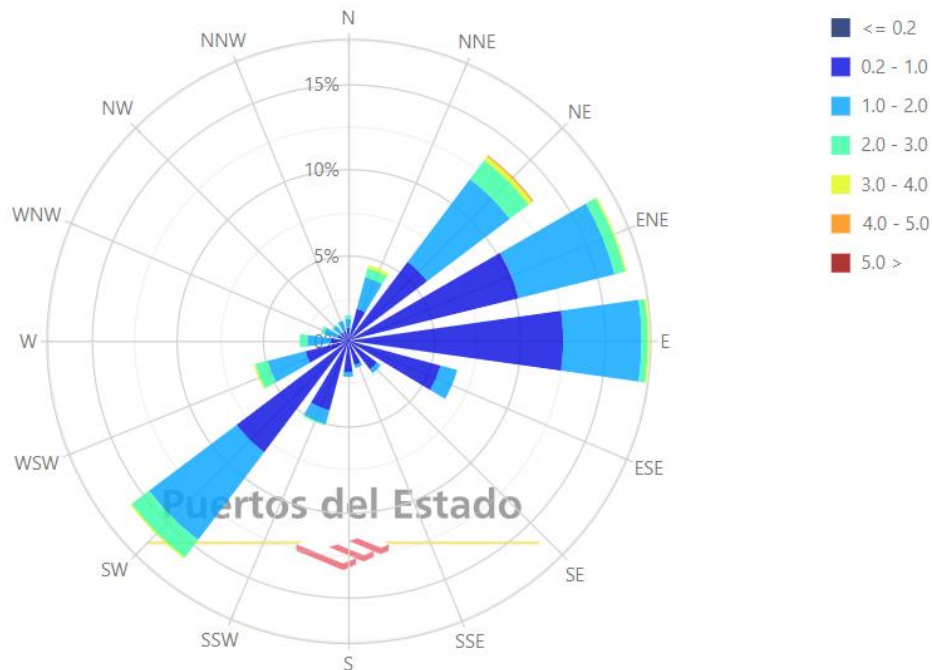


Figura 15: Rosa de altura significativa para oleaje en periodo otoñal

La distribución del oleaje en periodo otoñal es más uniforme, conformando aproximadamente el 45% del oleaje de las direcciones comprendidas entre el noreste y el este, sin despreciar el oleaje proveniente del suroeste. La altura de ola significativa mayor proviene principalmente del noreste, suponiendo, aunque pequeña, una cantidad para tener en cuenta (0,01%), así como las olas comprendidas entre cuatro y 5 m que suponen el 0,14% de las olas provenientes del noreste igualmente.

4.1.5. Altura de ola significativa

De manera que podamos analizar correctamente la altura de una significativa emplearemos los datos ofrecidos por la boya, en donde se nos muestra cuál es la relación existente entre el periodo pico y la altura de ola.

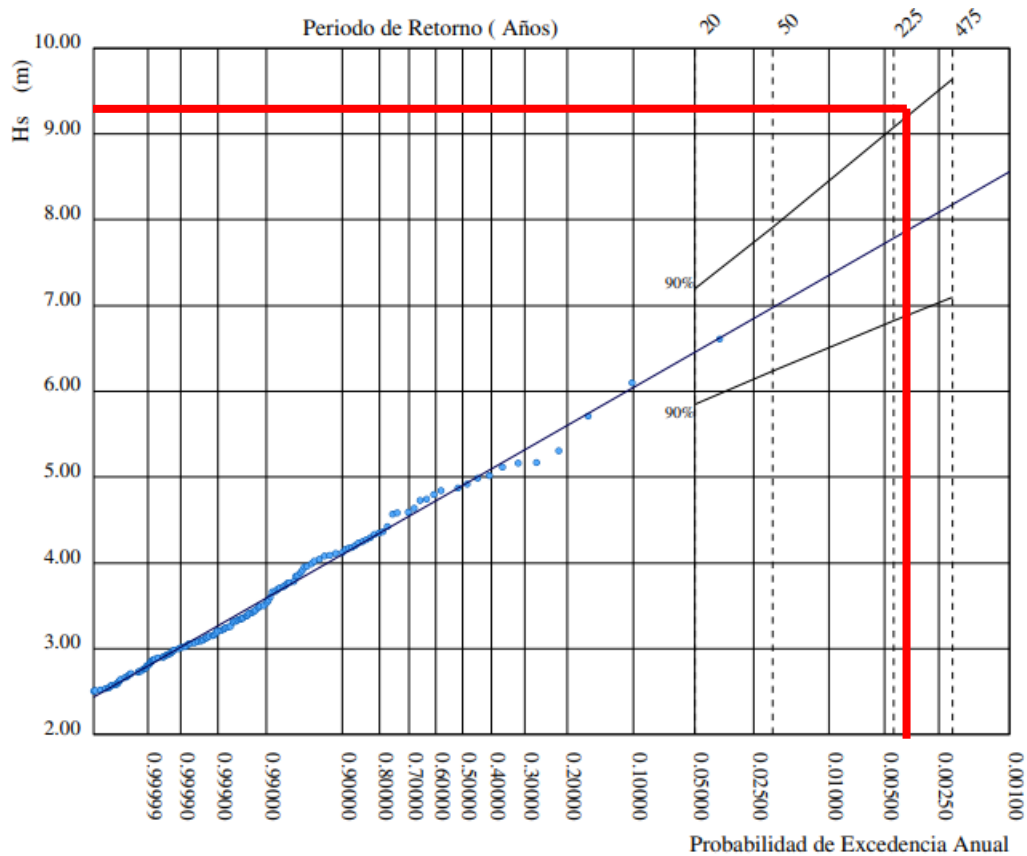


Figura 16: gráfica H_s -Probabilidad de excedencia-Periodo de retorno en régimen escalar

El periodo de retorno que emplearemos para nuestra obra será el obtenido en el anejo 4: condiciones generales de proyecto. En este caso, 250 años.

Dada una banda de confianza del 90% y el periodo de retorno anteriormente mencionado, nos proporciona un valor de altura de ola significativa $H_s=9,3$ m aproximadamente.

4.1.6. Periodo pico

Para calcular el periodo pico emplearemos la siguiente fórmula, que lo relaciona con la altura de ola significativa que acabamos de calcular:

$$T_p = 4,84 H_s^{0,38}$$

Lo que nos permite obtener un periodo de oleaje pico de valor $T_p = 11,3$ segundos

5. Propagación del oleaje

Los estudios de propagación del oleaje son una herramienta para comprender cómo se modifica la altura de las olas significativas a medida que se propagan desde aguas profundas hasta el punto de medición específico que se está considerando.

Estos estudios analizan y cuantifican los cambios en la altura de las olas a medida que se mueven a lo largo de su trayectoria, desde áreas marítimas más alejadas hasta llegar a la ubicación del punto de medición en cuestión. Este conocimiento es fundamental para comprender el comportamiento del oleaje en un área determinada y evaluar su impacto en estructuras de abrigo como diques y contradiques.

Durante la propagación, las olas pueden experimentar modificaciones en su altura debido a diversos factores, como la interacción con el relieve submarino, la refracción debido a la geometría costera, la difracción alrededor de obstáculos y la interacción con corrientes marinas. Estos procesos pueden causar cambios significativos en la altura de las olas antes de que lleguen a la ubicación donde se realiza la medición.

5.1. Régimen extremal

La altura de ola necesaria para el diseño de la ampliación del dique es la altura de ola significativa que se corrige para reflejar las condiciones al pie de la obra de abrigo.

En el caso de un dique ubicado en aguas poco profundas, la rotura del oleaje ocurre debido al fondo marino, es decir, antes de alcanzar el dique. En este escenario, el diseño del dique se realiza considerando una altura de ola de cálculo que no depende de las condiciones climáticas extremas.

Por otro lado, si el dique se encuentra en aguas profundas, las olas rompen al impactar contra el dique mismo. En este caso, la altura de ola de diseño utilizada es H_{sd} , que tiene en cuenta la interacción entre las olas y la estructura del dique.

Para determinar la situación de rotura del oleaje en la que se encuentra el dique, se lleva a cabo una verificación de la profundidad a la cual se produce la rotura del fondo marino. Este análisis permite determinar si el dique está sujeto a la rotura del oleaje antes de llegar a la estructura o si las olas rompen al chocar directamente contra el dique.

En la siguiente figura podremos observar cuáles son los ángulos que forman las direcciones del oleaje con la perpendicular a la línea de costa, lo que a posteriori emplearemos en el programa anteriormente mencionado:

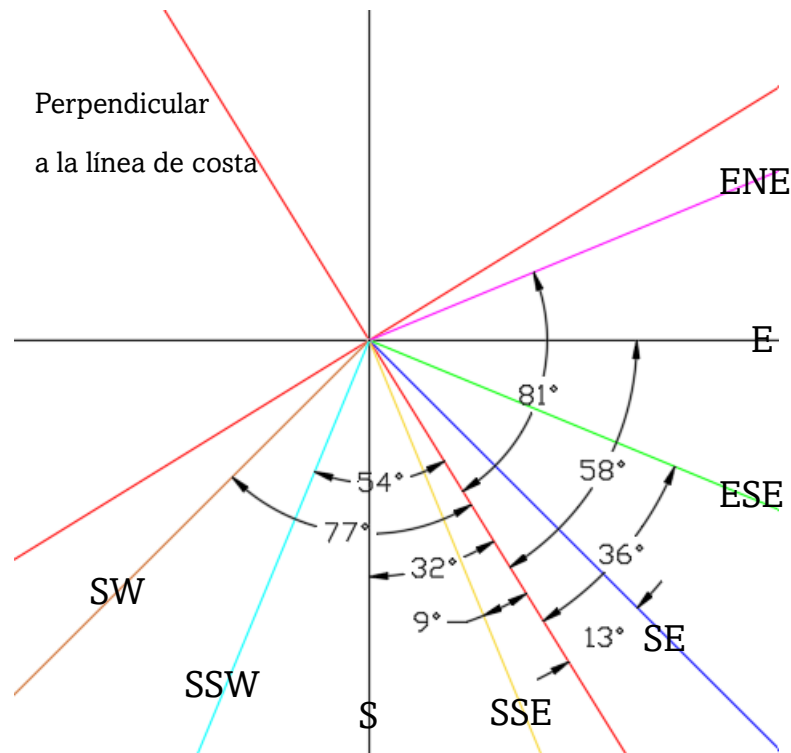


Figura 17: Ángulos de incidencia respecto a la perpendicular de la costa

Podemos comprobar, teniendo en cuenta que la profundidad de la Boya del Cabo de Hornos es de 230m, que las batimétricas en alta mar son prácticamente paralelas según el mapa de la batimetría, para elaborar una hipótesis de propagación:



Figura 18: Batimétricas en alta mar

Para conocer cual es el periodo medio, ya que el periodo pico es notoriamente superior, emplearemos el apartado E de la figura 10, en el que se especifica cual es la relación ente el periodo pico y el medio:

E - REGISTROS INSTRUMENTALES: CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES					
BOYA	$P = H_s / L_T = \frac{2\pi H_s}{g T_p^2}$	T_p / T	RELACION FINAL $\frac{H_s (m)}{T_p (s)}$	VALORES DE DISEÑO	
				$H_s (m)$	$T_p (s)$
VALENCIA I	0.025 ~ 0.04	≈ 1.25	$T_p = (5-6.3)\sqrt{H_s}$	3	8.5-11
				5	11 ~ 14
				7	13 ~ 16.5
ALICANTE	0.025 ~ 0.04	≈ 1.25	$T_p = (5-6.3)\sqrt{H_s}$	3	8.5-11
				5	11 ~ 14
				7	13 ~ 16.5

Figura 19: Correlaciones entre altura de ola y periodo en temporales

De donde podemos observar que, en el caso de Alicante, la relación T_p/T es de aproximadamente 1,25.

Con toda esta información procedemos a calcular la H_d para todas las direcciones significativas, sabiendo que la máxima profundidad del nuevo dique será entre 9,5 metros y 10 metros.

5.1.1. Oleaje de orientación noreste

En el caso del NE, pese a que es la dirección más grande, tiene una orientación de más de 90 grados respecto a la perpendicular a la costa, por lo que no la tomaremos en cuenta.

5.1.2. Oleaje de orientación este

En el caso de la dirección este, nos encontramos con una altura de ola significativa de 7,7m y un periodo pico de 9,5 segundos. Procedemos a calcular la altura de diseño.

<i>Características del oleaje</i>			
T_m (seg)	$\alpha_0(^{\circ})$	$H_{s0}(m)$	
7,60	58	7,7	
.			
$L_0 = g \times T^2 / (2\pi) =$	90		metros
<i>Comprobación aguas profundas</i>			
$d_0 > L_0 / 2 =$	45		metros
<i>Celeridad y celeridad de grupo</i>			
$C_0 = \frac{gT}{2\pi} \Rightarrow C_0 = \frac{9.8T}{2\pi} = 1,56T$			$C_0(m/seg)$
			11,9
$C_{g0} = nC_0 = \frac{1}{2} C_0$			$C_{g0}(m/seg)$
			5,9

Tabla 6: Características del oleaje de dirección este

	H propagada (m)	Rotura del oleaje	Altura de ola en profundidad d
d	$H_{s0} \cdot K_s \cdot K_r$	$H_b = 0.78 \cdot d$	Hd
10	5,9	7,8	5,9
8	5,8	6,2	5,8
6	5,9	4,7	4,7
4	6,2	3,1	3,1

Tabla 7: Altura de ola para diferentes profundidades (Este)

En el caso del oleaje de componente este, la altura de ola de diseño será de 5,9 m

5.1.3. Oleaje de orientación suroeste

En el caso de la dirección suroeste, nos encontramos con una altura de ola significativa de 7,5 m y un periodo pico de 10 segundos. Procedemos a calcular la altura de diseño.

Características del oleaje			
T_m (seg)	$\alpha_0(^{\circ})$	$H_{s0}(m)$	
8,00	77	7,5	
.			
$L_0 = g \times T^2 / (2\pi) =$	100		metros
Comprobación aguas profundas			
$d_0 > L_0 / 2 =$	50		metros
Celeridad y celeridad de grupo			
$C_0 = \frac{gT}{2\pi} \Rightarrow C_0 = \frac{9.8T}{2\pi} = 1,56T$			$C_0(m/seg)$
			12,5
$C_{g0} = nC_0 = \frac{1}{2} C_0$			$C_{g0}(m/seg)$
			6,2

Tabla 8: Características del oleaje de componente suroeste

d	H propagada (m) $H_{s0} \cdot K_s \cdot K_r$	Rotura del oleaje $H_b = 0.78 \cdot d$	Altura de ola en profundidad d Hd
10	3,9	7,8	3,9
8	3,9	6,2	3,9
6	3,9	4,7	3,9
4	4,0	3,1	3,1

Tabla 9: Altura de ola para diferentes profundidades (Suroeste)

En el caso del oleaje de componente este, la altura de ola de diseño será de 3,9 m

5.1.4. Conclusión de los resultados

Hemos comprobado que la altura de ola de cálculo más desfavorable es de 5,9 metros debido al componente este. Sabiendo que existe una carrera de marea de 1,03 metros gracias a los registros extremos del mareógrafo de Gandía, y una variabilidad del nivel del mar de hasta medio metro debido al cambio climático, se han vuelto a comprobar los cálculos para estas condiciones en esta dirección. Evidentemente, la altura de ola de diseño no cambiará pues al existir mayor profundidad solo aumentará la altura de ola que rompe por fondo, que ya era mayor que la propagada. Por lo tanto:

$$H_d = 5,9 \text{ metros}$$



6. Bibliografía

https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/extremales/EXT_1_2_2610.pdf

[Predicción de oleaje, nivel del mar ; Boyas y mareógrafos | puertos.es](#)

ROM 0.3-91