



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ANEJO Nº5: CLIMA MARÍTIMO

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA AMPLIACIÓN DEL
PUERTO DE GANDÍA (VALENCIA) PARA USOS NÁUTICO-
DEPORTIVOS. OBRAS DE ABRIGO Y REORDENACIÓN
INTERIOR.

Presentado por

Escudero Serrano, Mónica

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: Diciembre 2020



ÍNDICE

1. OBJETO	4
2. RÉGIMEN DE VIENTOS.....	5
3. CLIMA MARÍTIMO	10
4. CARACTERIZACIÓN DEL OLAJE.....	14
4.1 Régimen extremal.....	14
4.1.1 Dirección de oleaje	14
4.1.2 Altura de ola significativa	19
4.1.3 Periodo pico de oleaje	20
4.2 Régimen medio.....	21
4.2.1 Altura de ola significativa	21
5. PROPAGACIÓN DEL OLAJE.....	25
5.1 Régimen extremal.....	25
5.2 Régimen medio.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Ubicación de la Boya de Valencia respecto al puerto de Gandía	5
Ilustración 2. Características Boya de Valencia	6
Ilustración 3. Rosa de oleaje. Invierno	15
Ilustración 4. Rosa de oleaje. Primavera	16
Ilustración 5. Rosa de oleaje. Verano	17
Ilustración 6. Rosa de oleaje. Otoño	18
Ilustración 7. Ángulos de incidencia	26
Ilustración 8. Programa "Wave Calculator"	27
Gráfica 1. Régimen medio de altura significativa (NE)	21
Gráfica 2. Régimen medio de altura significativa (ENE)	22
Gráfica 3. Régimen medio de altura significativa (E)	22
Gráfica 4. Régimen medio de altura significativa (ESE)	23
Gráfica 5. Régimen medio de altura significativa (SE)	24
Tabla 1. Periodo pico y altura de ola significativa asociada a cada dirección del oleaje.	24



1. OBJETO

El objetivo del presente anejo es realizar el estudio y análisis de las condiciones del clima marítimo en las inmediaciones del Puerto de Gandía, situado en la fachada este de la península ibérica, en el mar Mediterráneo.

Para el desarrollo de este estudio se ha empleado información obtenida de la página web de Puertos del Estado (<https://puertos.es>)

2. RÉGIMEN DE VIENTOS

Para estudiar el régimen de vientos utilizaremos los datos obtenidos del Banco de Datos Oceanográficos de Puertos del Estado de la boya de Valencia, escogida por su proximidad.

A continuación se muestra la localización de la boya de Valencia, así como sus características.

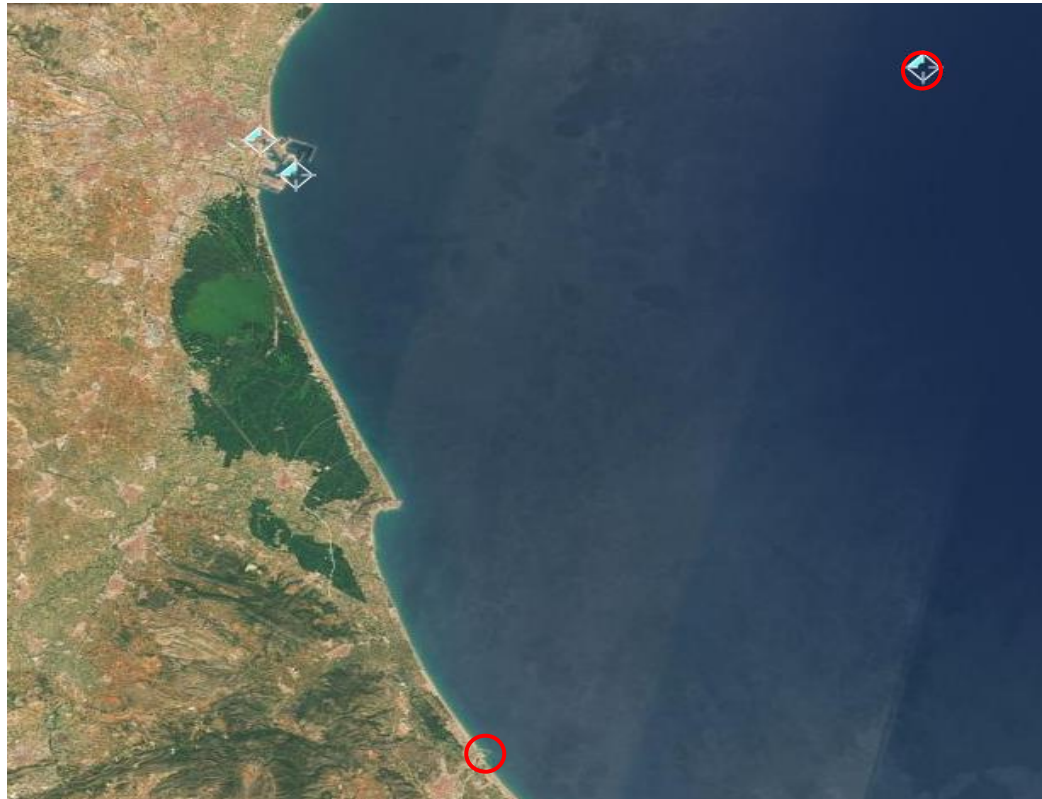


Ilustración 1. Ubicación de la Boya de Valencia respecto al puerto de Gandía

La Boya de Valencia pertenece a la Red de Boyas de Aguas Profundas de Puertos del Estado, también denominada Red Exterior (REDEXT). Esta red está constituida por boyas tipo Wavescan y Seawatch fondeadas en aguas profundas, a gran distancia de la línea de costa, de forma que sus mediciones no sean alteradas por efectos locales de la misma.

Desde un punto de vista estadístico, esta boya ha medido un ciclo de 15 años, por lo que los datos y parámetros de ella obtenidos pueden considerarse con buena fiabilidad.

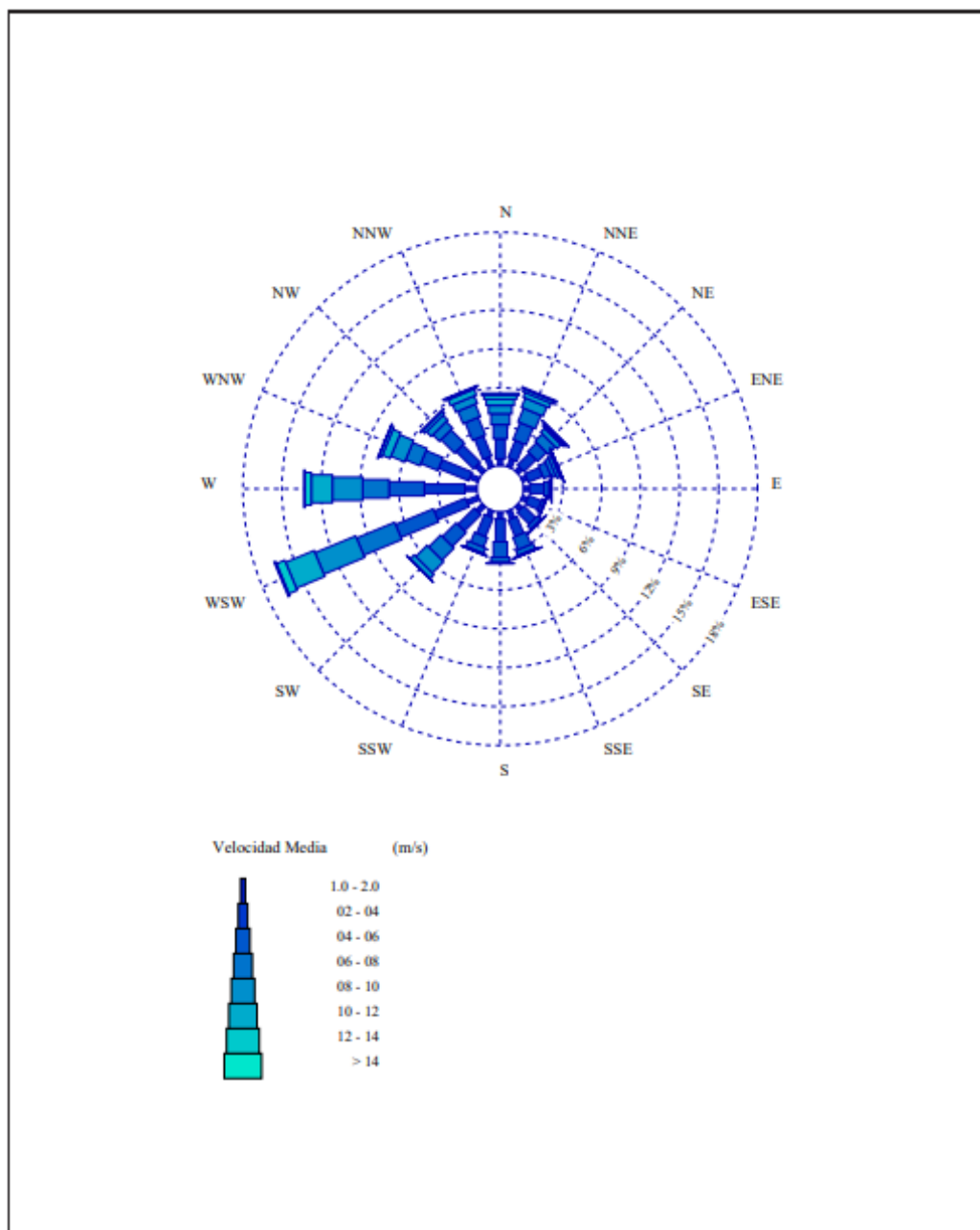
Conjunto de Datos	REDEXT
Longitud	0.20 E
Latitud	39.52 N
Profundidad	260m
Periodo	2005-2020

Código	2630
Tipo de sensor	Direccional Met-Oce

Ilustración 2. Características Boya de Valencia

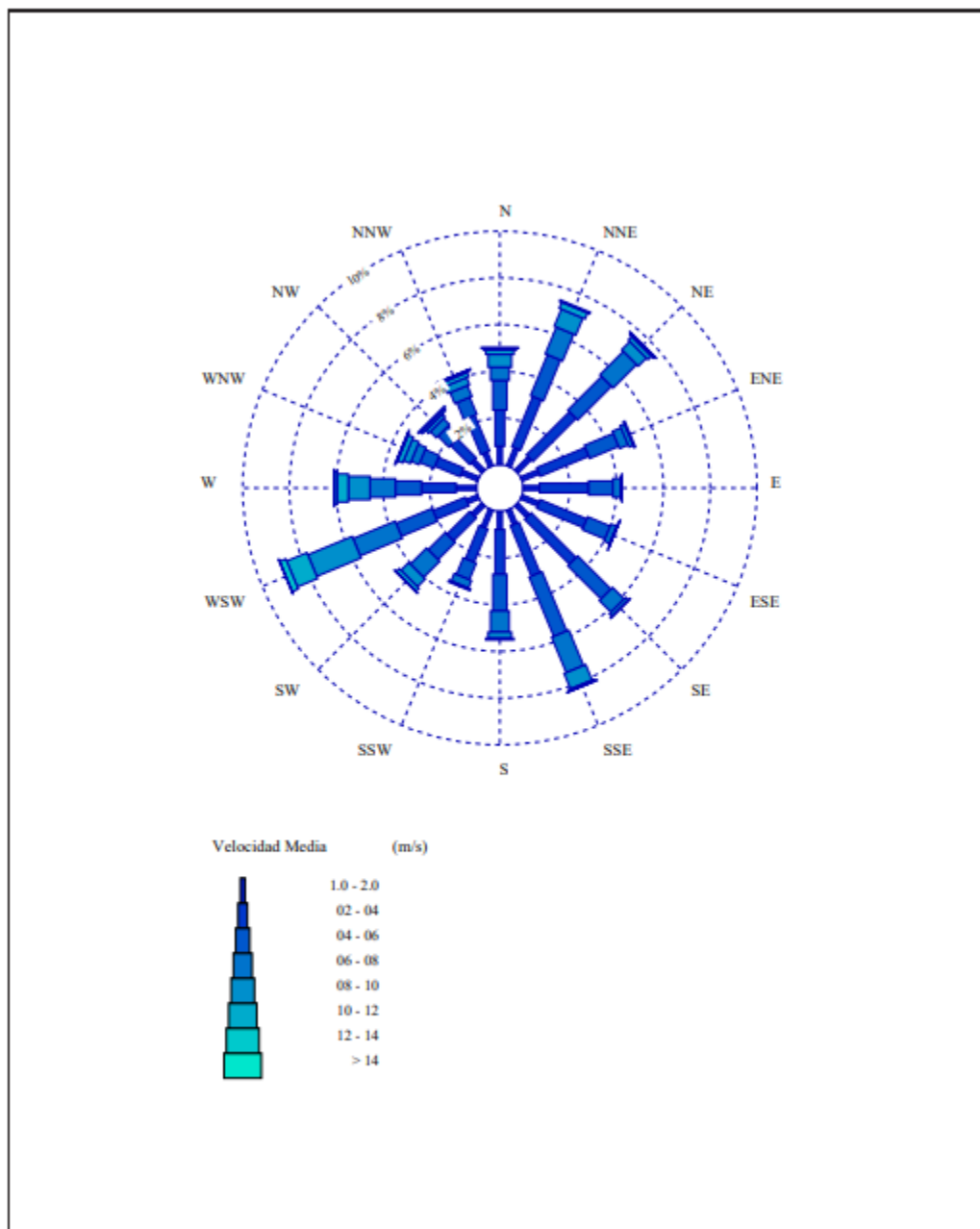
Definida la boya de referencia, se muestran a continuación las Rosas de Vientos y los Histogramas de dirección de procedencia y Velocidades más frecuentes de cada estación del año en el periodo de tiempo que nos proporciona la boya para el Régimen Medio, es decir, entre septiembre de 2005 y mayo de 2019.

Invierno (diciembre-febrero):



La dirección de procedencia más frecuente es de WSW, con más de 12 m/s de velocidad y una frecuencia bastante alta, de más del 15%, y en menor grado los de W, WNW y SW. Teniendo una velocidad media frecuente de 2-4 m/s.

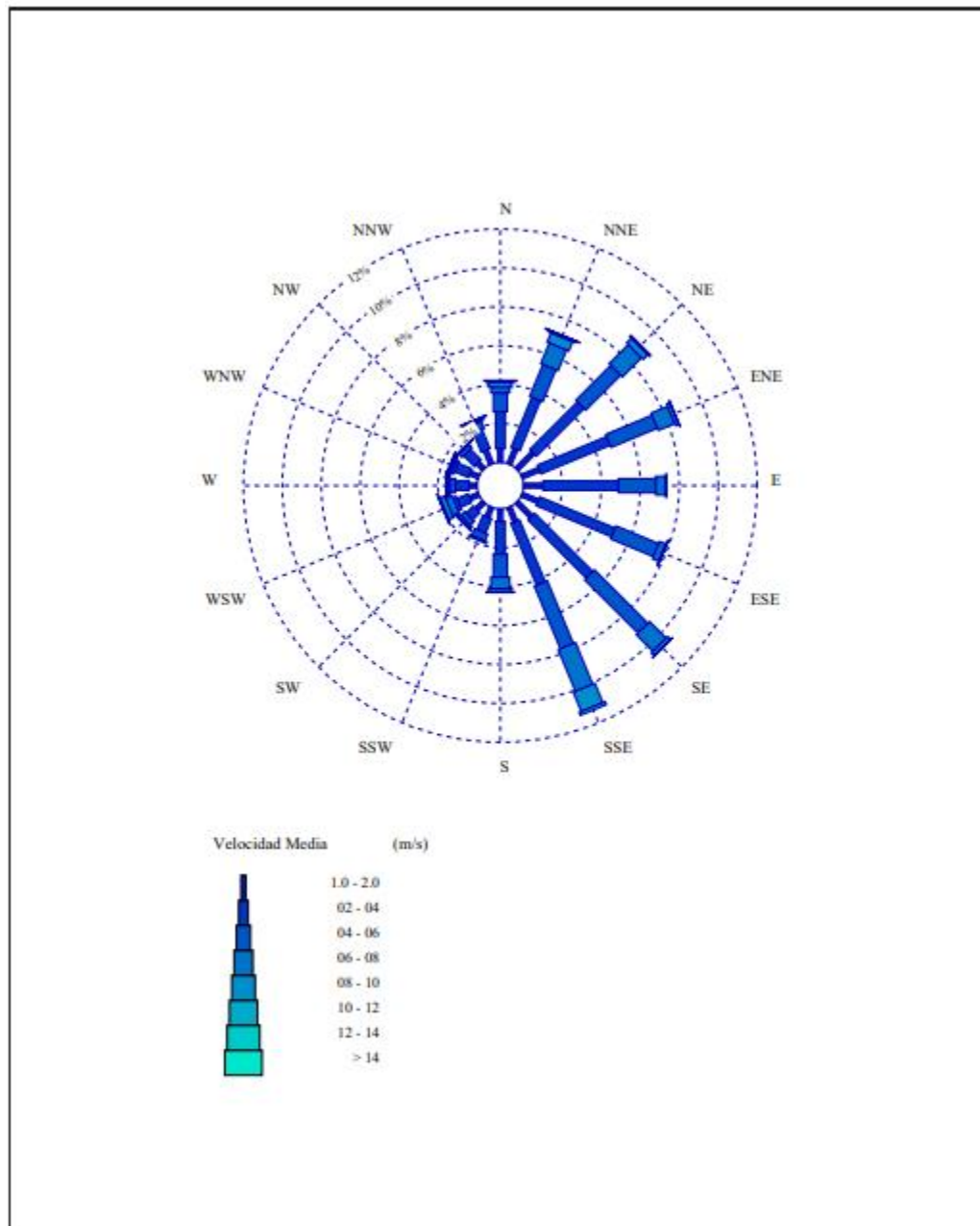
Primavera (marzo-mayo):



En este periodo la procedencia más frecuente del viento continúa siendo WSW, pero con menor frecuencia, ya que ahora es aproximadamente del 8 %. Van ganando importancia

las direcciones de la zona E, tales como SSE, NNE y NE, llegando a alcanzar velocidades de 8 m/s. Lo que significa que es una estación de transición invierno-verano. La velocidad media más frecuente continúa siendo 2-4 m/s.

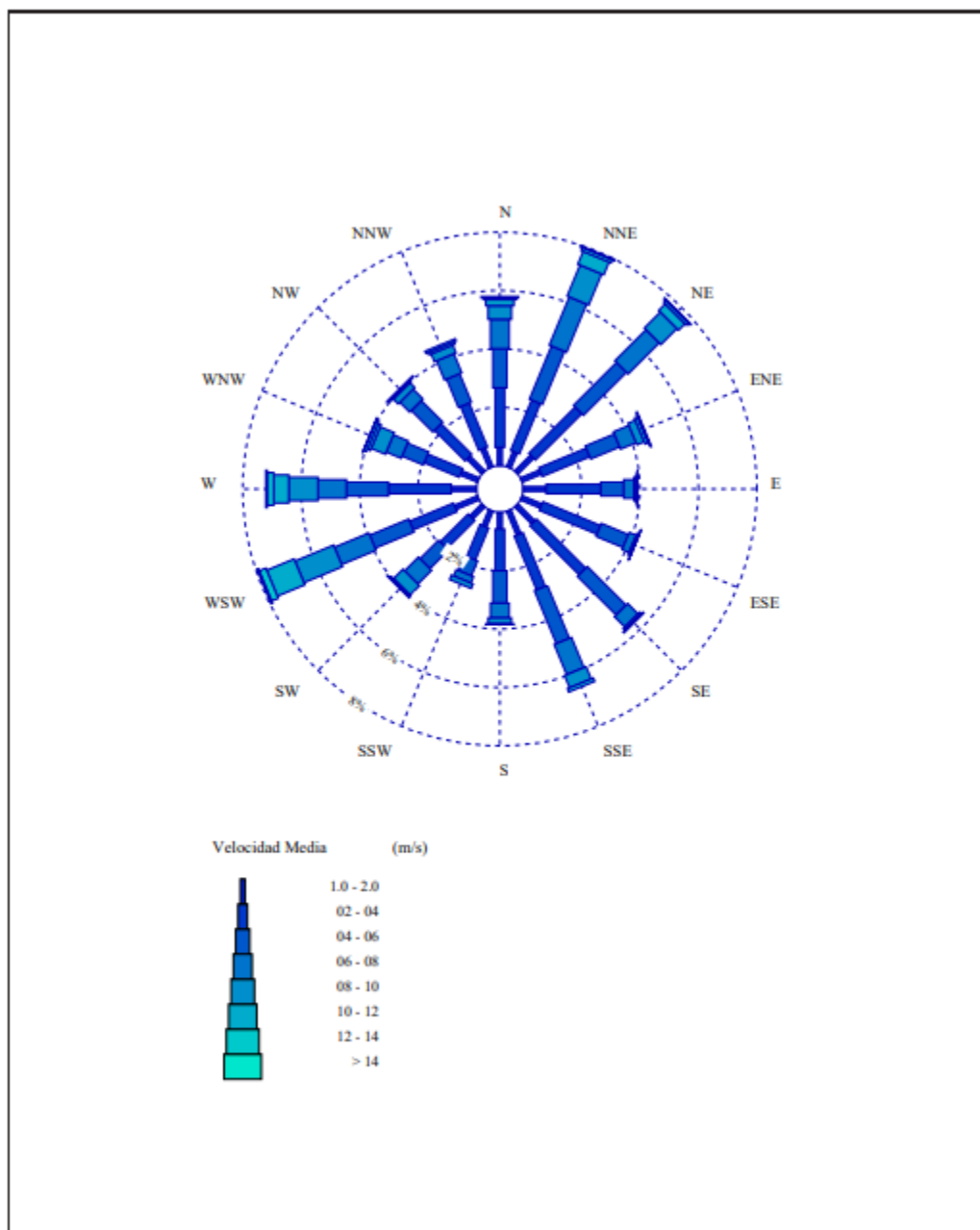
Verano (junio-agosto):



Las direcciones de procedencia SSE y SE son las que predominan con una frecuencia de aproximadamente del 11 y 10% respectivamente, seguida de la dirección NE con un 9%. El

viento de la zona W es prácticamente nulo. Por lo tanto, la dirección predominante del viento ha cambiado completamente en comparación con la estación de invierno. La velocidad media más frecuente sigue siendo 2-4 m/s.

Otoño (septiembre-noviembre):



En este periodo vemos una gran variabilidad con vientos predominantes WSW, NNE y NE con una frecuencia del 8% pero también vientos W y SSE con una frecuencia del 7% por

lo que vuelve a ser una estación transitoria verano-invierno en este caso. La velocidad media más frecuente sigue siendo 2-4 m/s, y la velocidad máxima supera los 10 m/s.

Podemos concluir que la dirección que ocurre con mayor frecuencia a lo largo del año es WSW con velocidades medias más altas que las otras direcciones. Además, se observa que entre verano e invierno las direcciones son opuestas siendo en invierno predominante el viento de poniente mientras que en verano lo es el de levante. Los periodos de primavera y otoño son de transición.

3. CLIMA MARÍTIMO

Para determinar el clima marítimo en la zona del puerto de Gandía, acudiremos a la ROM 0.3-91 “Oleaje. Anejo I. Clima marítimo en el litoral español”.

La metodología utilizada se basa en el análisis estadístico de la información procedente de dos fuentes:

- Datos visuales de Oleaje en aguas profundas con información direccional, almacenados en la Base de Datos Visuales del CEPYC, creada a partir de los datos suministrados por el National Climatic Data Center de Asheville (Carolina del Norte, USA), que cubren todas las áreas definidas para la caracterización del Clima Marítimo del Litoral Español, y abarca todas las observaciones realizadas en el periodo comprendido entre 1950 y 1985.
- Datos Instrumentales Escalares de Oleaje registrados por las boyas de medida pertenecientes a la REMRO.

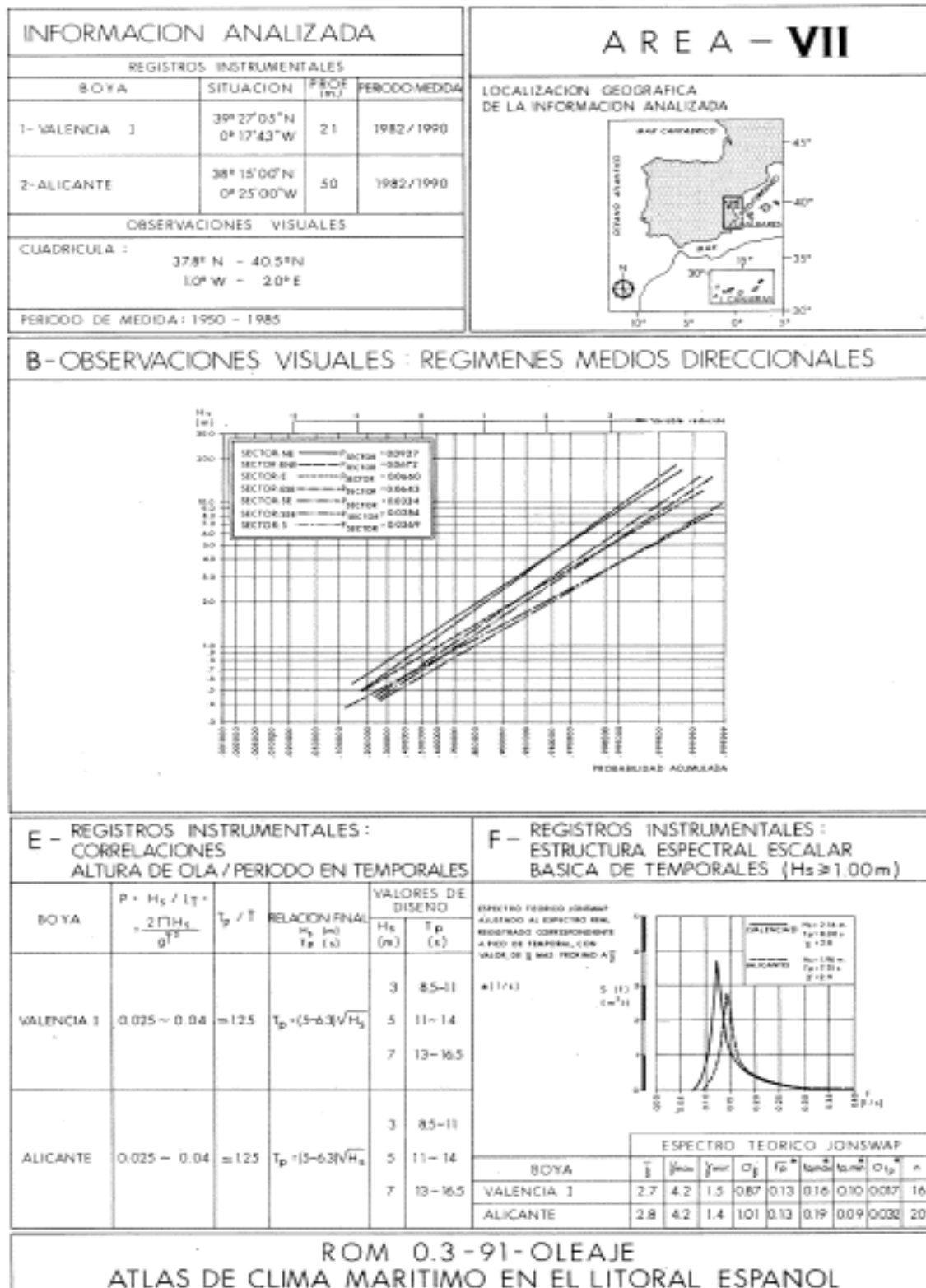
El anejo de la ROM 0.3-91 presenta el “Atlas marítimo en el litoral Español”, que cuenta con una zonificación del mismo en 10 áreas, definidas en base a características climáticas homogéneas, a la configuración de la costa, y al emplazamiento de las fuentes de información disponible. La costa valenciana, donde se sitúa el puerto, está enmarcada en el área VII.

La ordenación de los datos es:

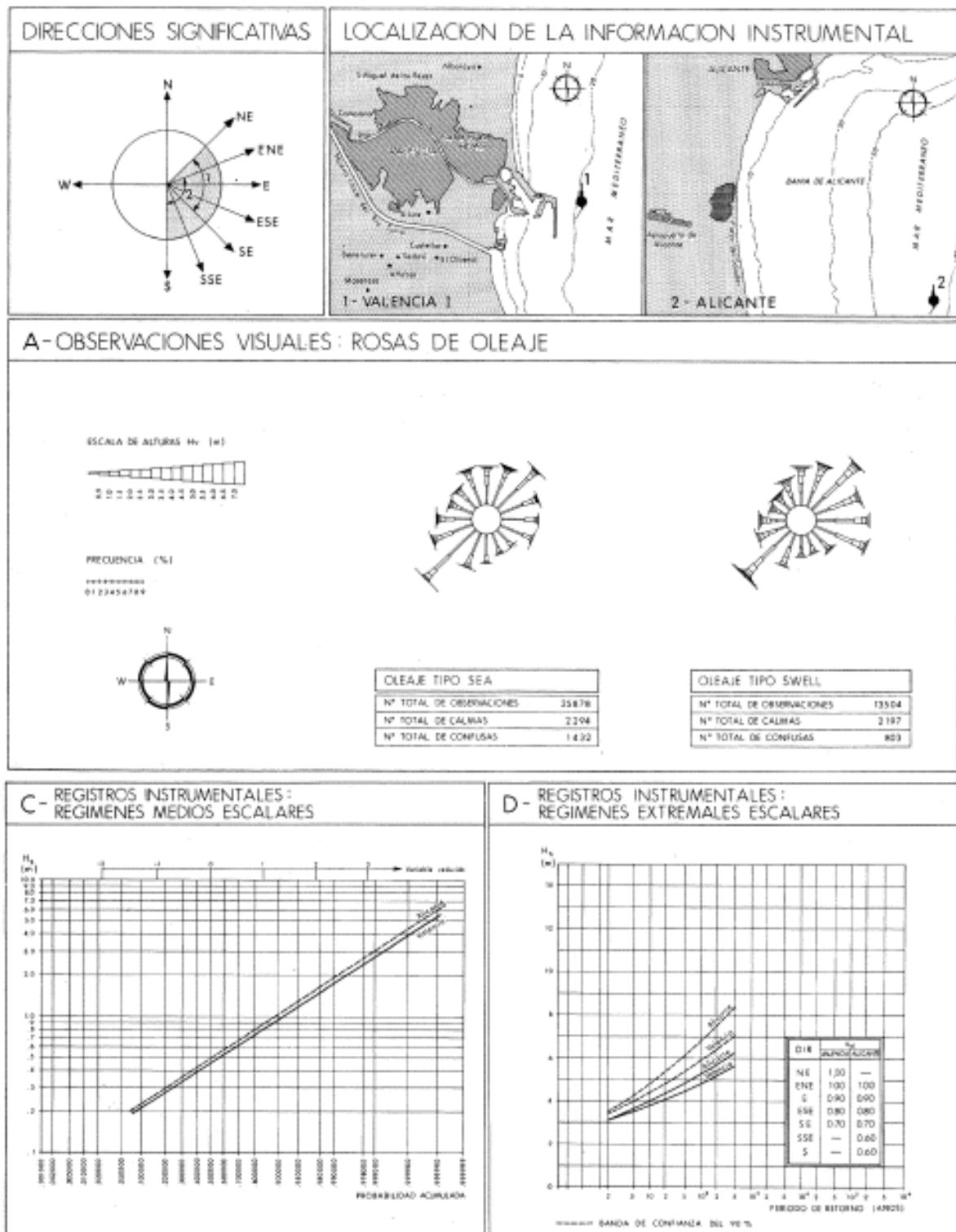
- Cabecera: Características y localización de la información analizada.
- Cuadro A: Observaciones Visuales – Rosas de oleaje. Ofrece la distribución conjunta de altura, dirección y frecuencia de las olas en forma de Rosas de Oleaje. Se representa la información diferenciando entre el oleaje tipo Sea, que es el que se produce bajo la acción directa y continua del viento dando lugar a olas elementales de altura, periodo, fase y dirección de propagación aleatorias e independientes, y el oleaje tipo Swell, que es el que se produce en zonas distintas a las de generación, agrupando los datos en sectores de 22,5º de amplitud.

- Cuadro B: Observaciones Visuales – Regímenes Medios Direccionales. Frecuencias Sectoriales. Ofrece las frecuencias de presentación de la altura de ola visual H_v por sectores direccionales.
- Cuadro C: Registros instrumentales – Regímenes Medios Escalares. Presenta el análisis estadístico unidimensional de la variable altura de ola significativa (a partir de datos instrumentales) para la situación de Régimen Medio.
- Cuadro D: Registros instrumentales – Regímenes Extremales Escalares. Relación Altura/Dirección. Presenta el análisis estadístico unidimensional de la variable altura de ola significativa (a partir de datos instrumentales) para la situación de Régimen Extremal.
- Cuadro E: Registros instrumentales – Correlaciones Altura de ola / Periodo para las condiciones de temporal. Ofrece el análisis estadístico bidimensional altura de ola significativa / periodo medio, y periodo medio / periodo pico, para condiciones de temporal.
- Cuadro F: Registros instrumentales – Estructura Espectral Escalar Básica para condiciones de temporal. Análisis estadístico espectral orientado a la obtención de una estructura espectral escalar básica del oleaje, representativa del mismo para condiciones de temporal.

Se adjunto a continuación la hoja correspondiente a dichos datos.



ROM 0.3-91-OLEAJE
ATLAS DE CLIMA MARITIMO EN EL LITORAL ESPANOL



4. CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE

4.1 Régimen extremal

La seguridad y operatividad de un puerto pueden estar condicionadas por la aparición de situaciones de temporal, aquellas en las que la altura del oleaje alcanza una intensidad que no es frecuente. Para acotar el riesgo de estas instalaciones debemos disponer de una estimación de la frecuencia o probabilidad con la que se presentan ciertos valores de altura significativa de ola.

Un régimen extremal de oleaje, es precisamente, un modelo estadístico que describe la probabilidad con la que se puede presentar un temporal de una cierta altura de riesgo.

Estudiaremos el régimen extremal en los apartados siguientes.

4.1.1 Dirección de oleaje

La dirección del oleaje se estudiará mediante las rosas del oleaje, que indican la altura significativa y la frecuencia de aparición del oleaje. Estos datos se han obtenido de la web de Puertos del Estado accediendo al mapa de la Península Ibérica en la casilla de oleaje en la Boya de Valencia.

En invierno, la dirección más frecuente de oleaje es ENE, llegando casi al 20% de frecuencia. La segunda dirección más frecuente es NE, con más del 12% de frecuencia. Además, estas dos direcciones son las que mayor altura de ola significativa tienen llegando a alcanzar los 4 metros.

Al igual que en invierno, en primavera la dirección del oleaje más frecuente es ENE, superando una frecuencia del 17%. Además, esta dirección es la que alcanza mayor altura de ola significativa, llegando a los 3 metros. Las direcciones de oleaje SSE, SE, E y NE también tienen una alta frecuencia.

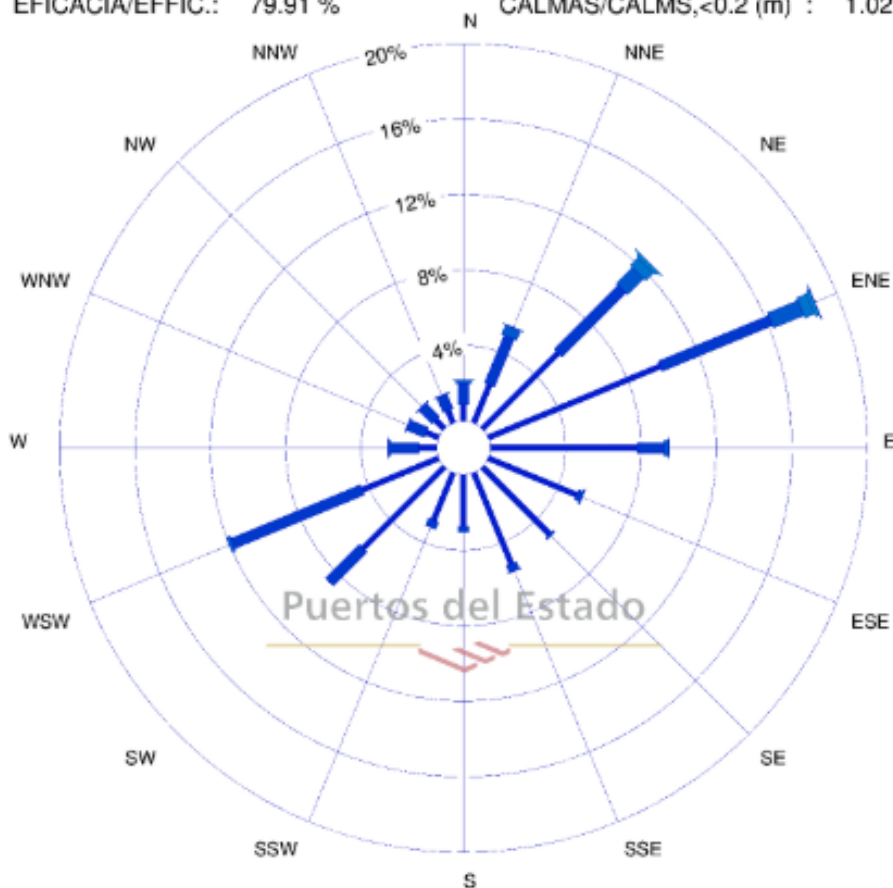
En verano, SSE y SE son las direcciones de oleaje más frecuentes, con una altura de ola significativa de entre 1 y 2 metros aproximadamente. Posteriormente se encuentran las direcciones ESE, E y ENE, cuya frecuencia no llega al 16%, y la altura de ola significativa es también de entre 1 y 2 metros.

En otoño, las direcciones de oleaje más frecuentes son NE y ENE, superando el 16% de frecuencia y con altura de ola significativa de entre 4 y 5 metros.

Se puede por tanto concluir que la dirección del oleaje más frecuente es ENE y que además es la que posee una mayor altura de ola significativa. Por otro lado, también se tendrán que tener en cuenta las direcciones NE, E, ESE Y SSE, ya que por su frecuencia y altura de la condicionan el diseño de la ampliación del puerto.

La información de los párrafos anteriores hace referencia a las rosas de oleaje que se muestran a continuación.

LUGAR/LOCATION: Boya Valencia Copa MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
PERIODO/PERIOD: 2005-2019 INTERVALO/INTERVAL: Dic.-Feb.
EFICACIA/EFFIC.: 79.91 % CALMAS/CALMS, <0.2 (m) : 1.02 %



Altura significativa/ Significant height (m)

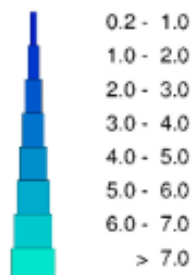
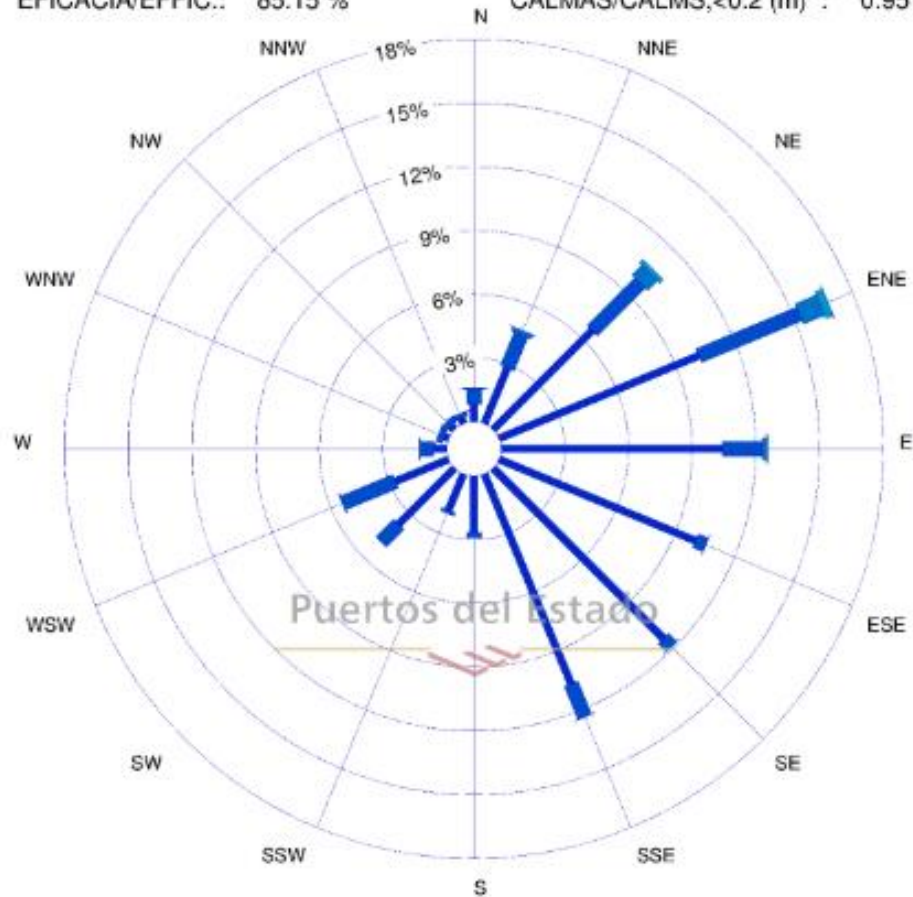


Ilustración 3. Rosa de oleaje. Invierno

LUGAR/LOCATION: Boya Valencia Copa MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
 PERIODO/PERIOD: 2006-2019 INTERVALO/INTERVAL: Mar.-May.
 EFICACIA/EFFIC.: 85.15 % CALMAS/CALMS,<0.2 (m) : 0.95 %



Altura significativa/ Significant height ((m))

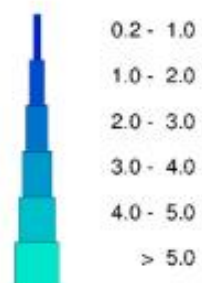
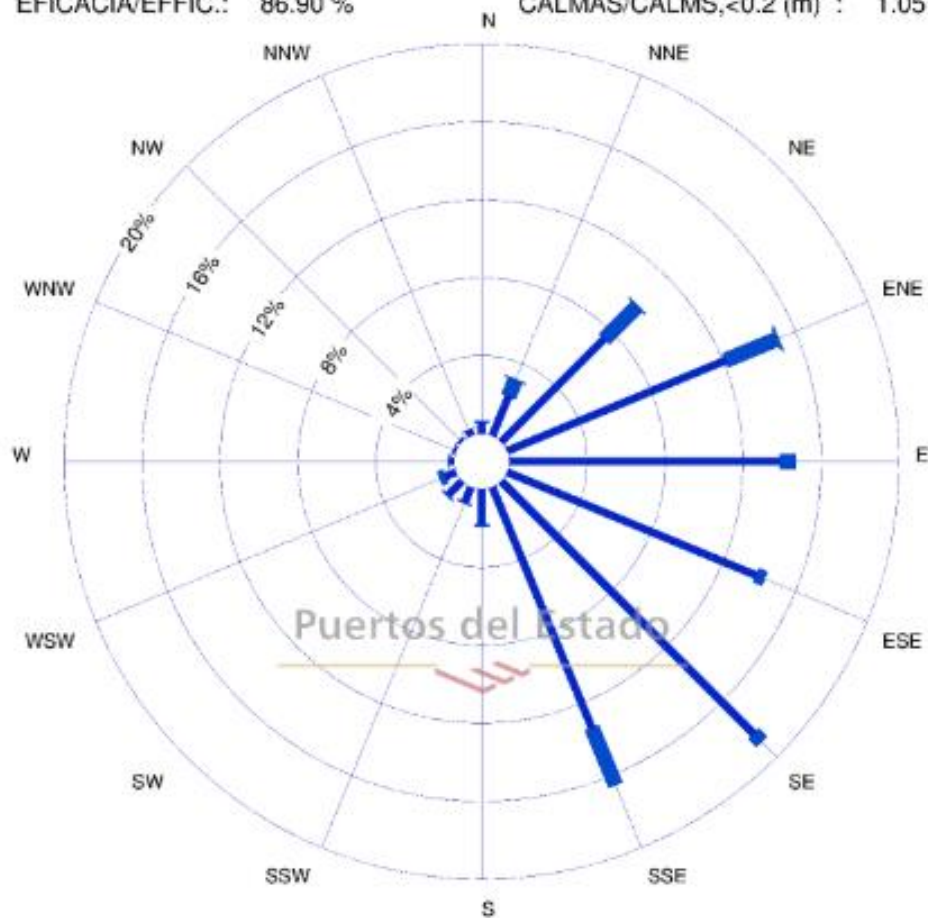


Ilustración 4. Rosa de oleaje. Primavera

LUGAR/LOCATION: Boya Valencia Copa MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
 PERIODO/PERIOD: 2006-2019 INTERVALO/INTERVAL: Jun-Ago.
 EFICACIA/EFFIC.: 86.90 % CALMAS/CALMS,<0.2 (m) : 1.05 %



Altura significativa/ Significant height ((m))

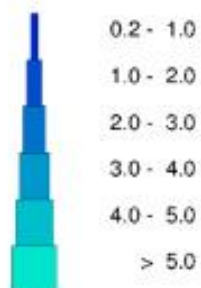
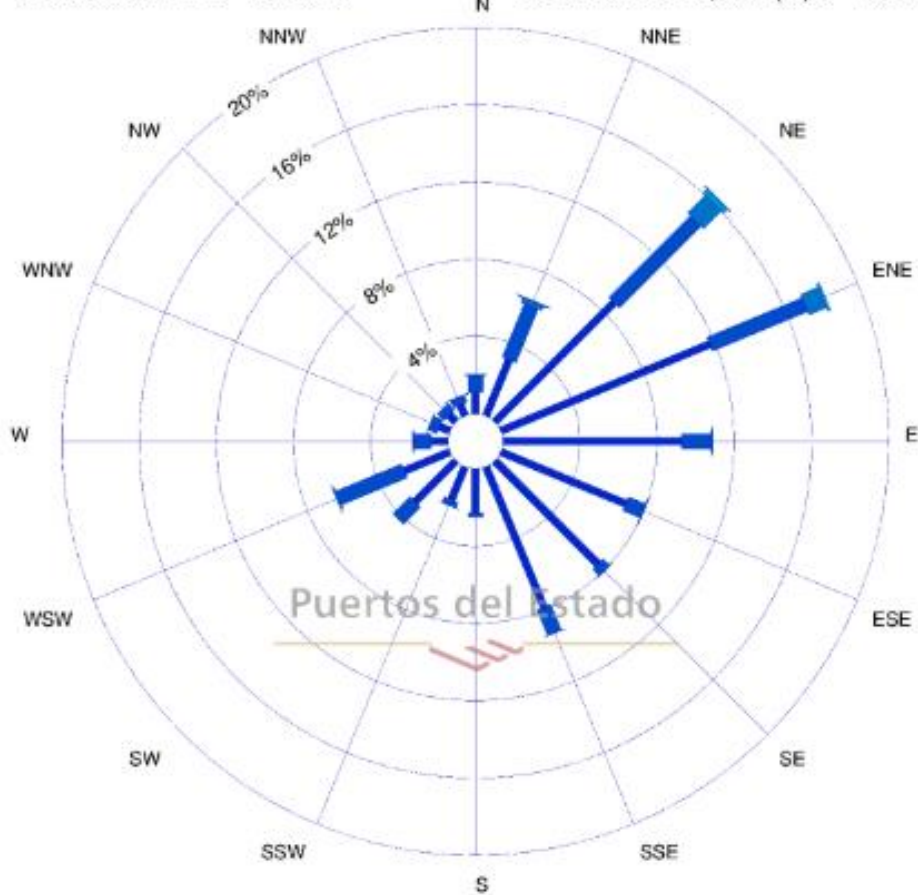


Ilustración 5. Rosa de oleaje. Verano

LUGAR/LOCATION: Boya Valencia Copa MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
 PERIODO/PERIOD: 2005-2019 INTERVALO/INTERVAL: Sep.-Nov.
 EFICACIA/EFFIC.: 88.10 % CALMAS/CALMS,<0.2 (m) : 0.66 %



Altura significativa/ Sigicant height ((m))

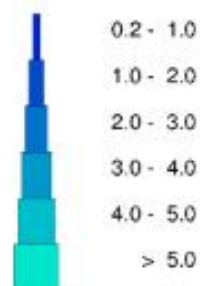
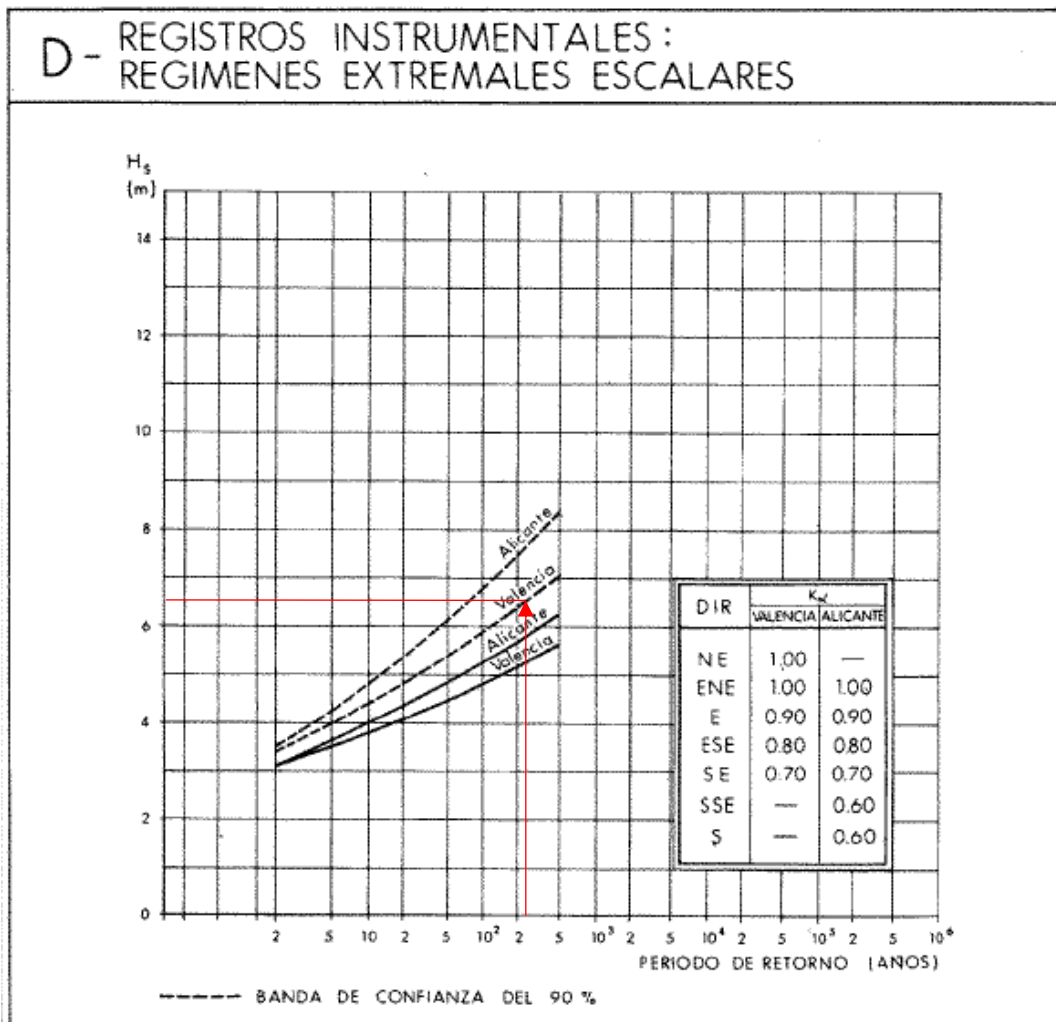


Ilustración 6. Rosa de oleaje. Otoño

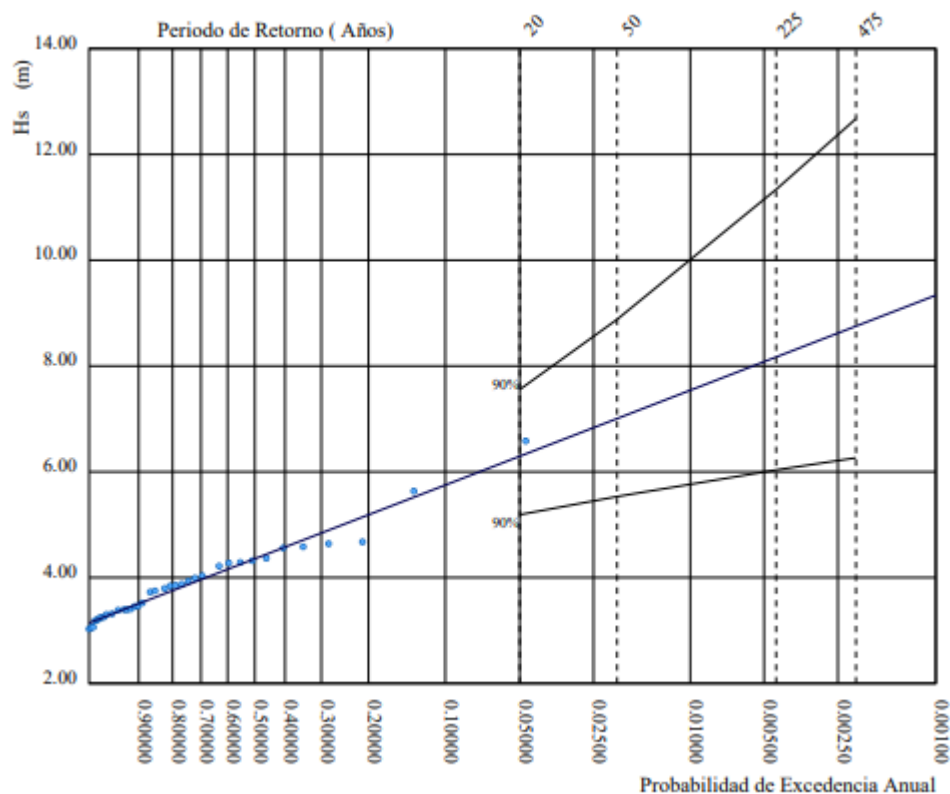
4.1.2 Altura de ola significativa

Para analizar la altura de ola significativa volvemos a recurrir a la ROM 0.3-91, concretamente al cuadro D Registros instrumentales: Regímenes extremales escalares, donde se muestra la relación que existe entre la altura de ola y el periodo pico.



En Valencia, para un periodo de retorno de 250 años, la altura de ola significativa, H_s , es de 6,5 metros.

La altura de ola significativa también se obtendrá de la página de Puertos del Estado (www.puertos.es), recurriendo nuevamente a los datos históricos del oleaje en regímenes extremales para la Boya de Valencia. Así, obtenemos la gráfica que relaciona la altura de ola significativa H_s con la probabilidad de excedencia.



Para una banda de confianza del 90% y un periodo de 250 años, se obtiene una altura de ola significativa $H_s = 8,3$ metros.

4.1.3 Periodo pico de oleaje

En el informe mencionado anteriormente del que se ha obtenido la altura significativa de ola, se encuentra la siguiente relación entre la altura de ola significativa y el periodo pico.

$$T_p = 3,48 * H_s^{0.63}$$

Por lo tanto, se obtiene un periodo de oleaje pico, T_p , 13,2 segundos.

4.2 Régimen medio

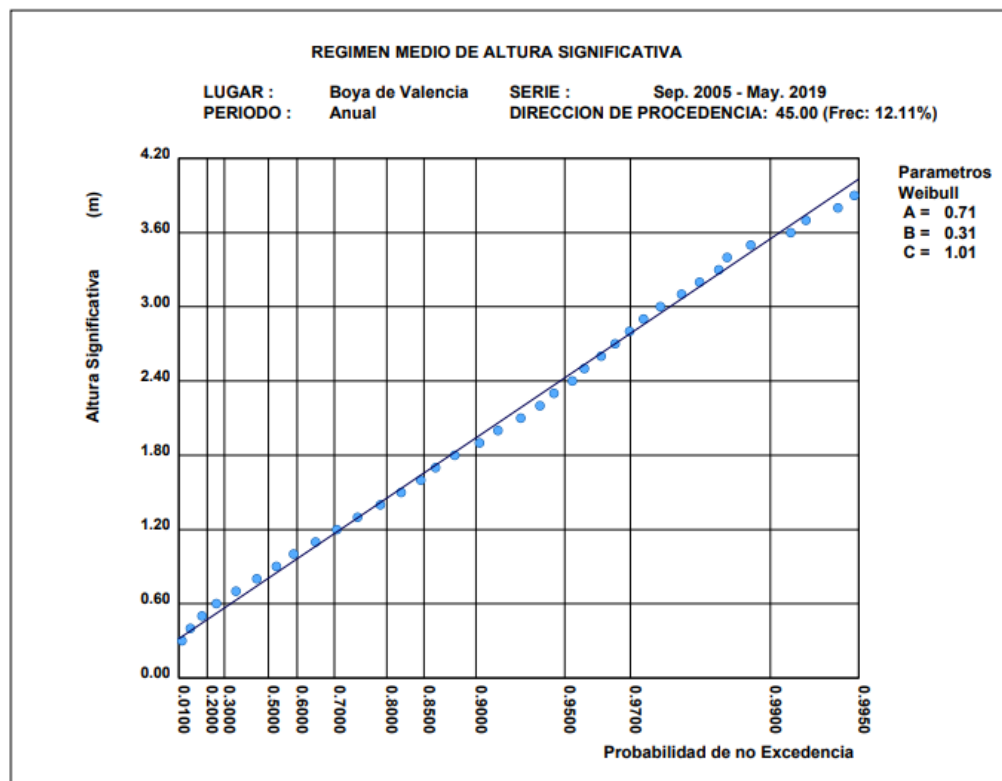
4.2.1 Altura de ola significativa

Para calcular la altura de ola significativa en régimen medio acudimos de nuevo a la página web de Puertos del Estado, concretamente al documento “Clima medio de oleaje” para la Boya de Valencia. En este apartado nos centraremos únicamente en las direcciones de oleaje predominante que hemos visto anteriormente y para ello utilizaremos las gráficas que relacionan la altura de ola significativa con la probabilidad de no excedencia.

Dichas direcciones predominantes son las siguientes:

Noreste (NE)

NE



Gráfica 1. Régimen medio de altura significativa (NE)

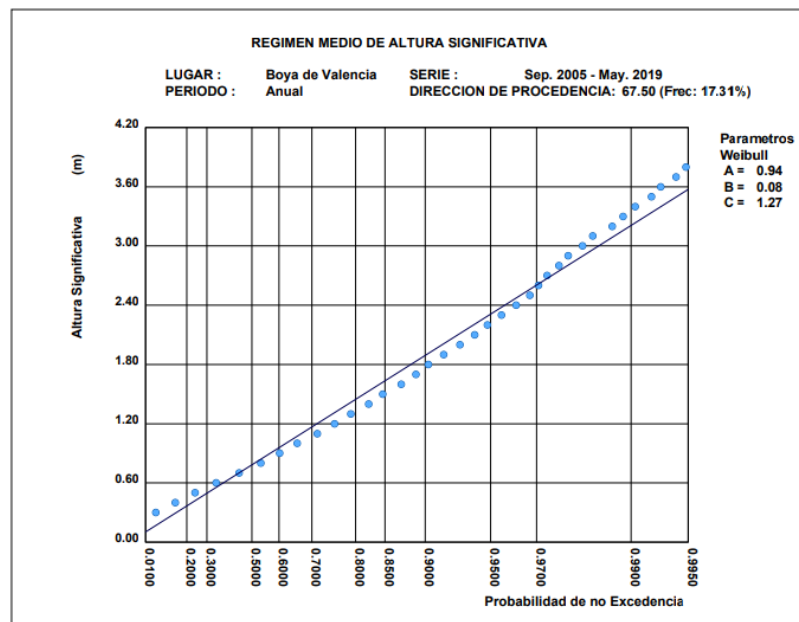
Admitiendo una probabilidad de no excedencia de 99%, obtenemos un $H_s = 3,5$ metros, y con la fórmula expresada anteriormente para el periodo pico:

$$T_p = 3,48 * H_s^{0.63}$$

El periodo pico, T_p , es de 7,66 segundos.

Este-Noreste (ENE)

ENE

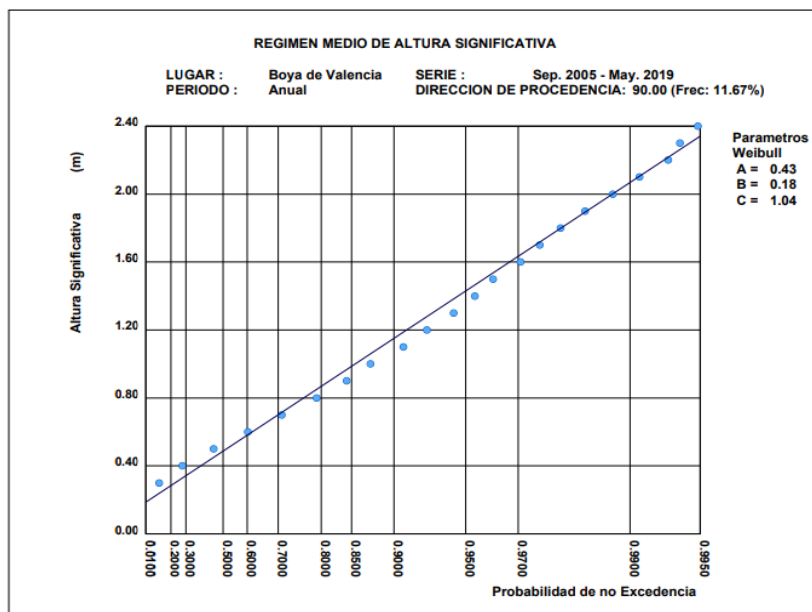


Gráfica 2. Régimen medio de altura significativa (ENE)

Operando como en el apartado anterior se obtiene $H_s = 3,2$ metros y $T_p = 7,24$ segundos.

Este (E)

E

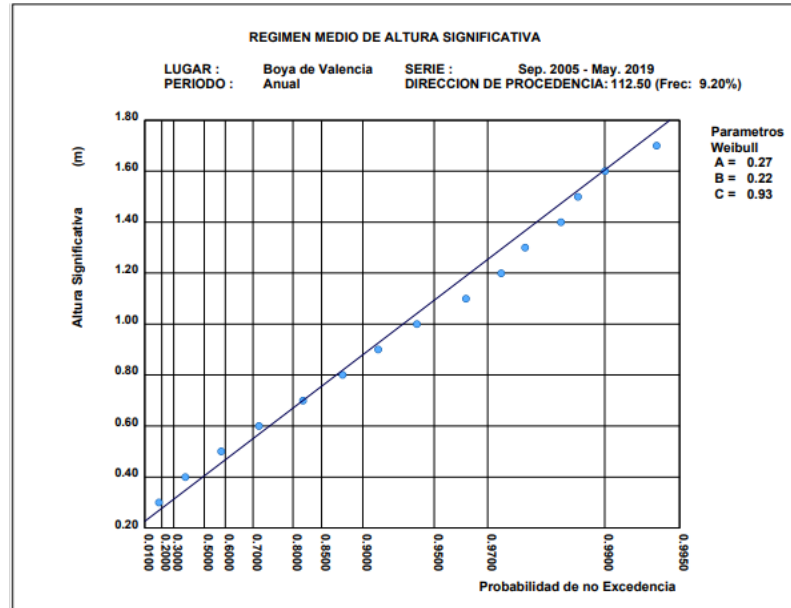


Gráfica 3. Régimen medio de altura significativa (E)

Para esta dirección se obtiene $H_s = 2,1$ metros y $T_p = 5,55$ segundos.

Este-sureste (ESE)

ESE

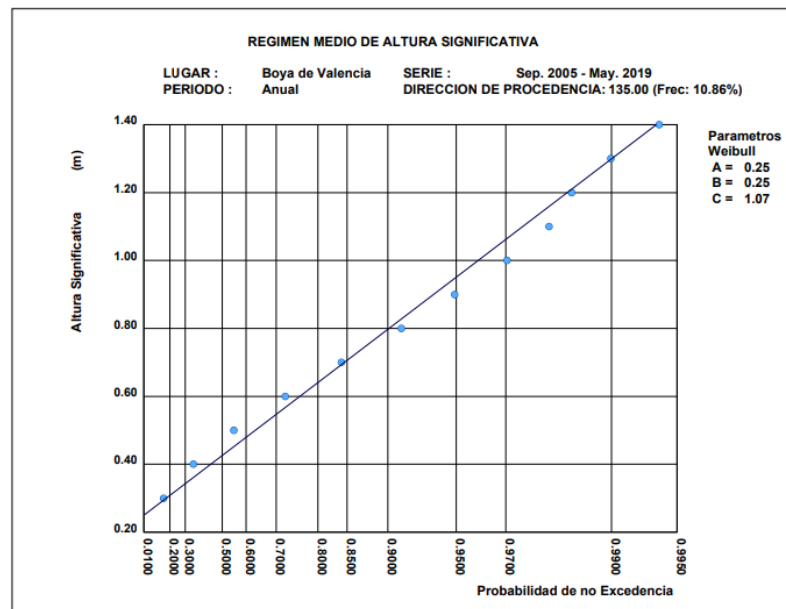


Gráfica 4. Régimen medio de altura significativa (ESE)

Para esta dirección se obtiene $H_s = 1,6$ metros y $T_p = 4,68$ segundos.

Sureste (SE)

SE



Gráfica 5. Régimen medio de altura significativa (SE)

Para esta dirección se obtiene $H_s = 1,3$ metros y $T_p = 4,1$ segundos.

En la siguiente tabla se recogen los datos obtenidos para cada dirección:

Dirección	H_s (m)	T_p (seg)
NE	3,5	7,66
ENE	3,2	7,24
E	2,1	5,55
ESE	1,6	4,68
SE	1,3	4,1

Tabla 1. Periodo pico y altura de ola significativa asociada a cada dirección del oleaje.

En el siguiente apartado aplicaremos los procedimientos de propagación del oleaje a los datos obtenidos, puesto que estos datos están referidos a la Boya de Valencia y es necesario propagarlos a nuestra zona de estudio, el Puerto de Gandía. Tendremos en cuenta entonces el asomeramiento y la difracción para obtener la ola significativa corregida que llega al puerto.

5. PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

Los estudios de propagación del oleaje permiten conocer las modificaciones de la altura de ola significativa desde aguas profundas hasta el emplazamiento del punto de medida considerado.

5.1 Régimen extremal

La ola de cálculo necesaria para el diseño de la ampliación del dique es la altura de ola significativa corregida al pie de la obra de abrigo.

Si el dique se encuentra en aguas reducidas, la rotura del oleaje se produce por fondo, es decir, antes de llegar al dique, y el diseño se realiza para una ola de cálculo independiente del temporal. Por otro lado, si el dique está en aguas profundas, las olas rompen al chocar contra el dique y la ola de diseño es H_{sd} .

Para comprobar en que situación de rotura de oleaje se encuentra el dique, se comprueba la profundidad a la que se produce la rotura de fondo:

$$d = \frac{H_s}{0,8} = \frac{8,3}{0,8} = 10,375 \text{ metros}$$

Se verifica que como el dique de abrigo puede llegar como máximo a una profundidad de 7 metro aproximadamente, nos encontramos con que la situación de rotura del oleaje se produce por fondo.

A continuación se deberá obtener la altura de ola en profundidades definidas y tener en cuenta la refracción y el asomeramiento.

La propagación del oleaje se realizará utilizando el programa online Wave Calculator realizado por la Universidad de Delaware. En el cual introduciremos los siguientes parámetros iniciales.

En la siguiente ilustración se muestran los ángulos que forman las direcciones del oleaje con la perpendicular a la línea de costa y que necesitaremos para introducir en el programa.

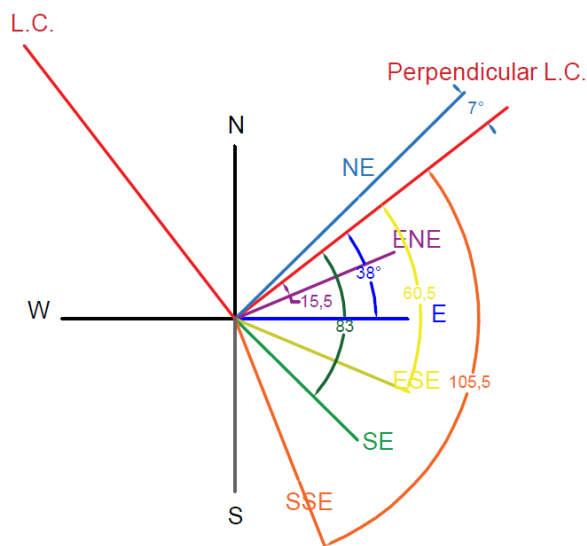


Ilustración 7. Ángulos de incidencia

La propagación del oleaje se realizará utilizando el programa en línea Wave Calculator realizado por la Universidad de Delaware en el que introduciremos los siguientes parámetros iniciales.

Dirección	H_s (m)	T_p (seg)	Alfa (°)	Profundidad (m)
NE	8,3	13,2	7	7,5
ENE	8,3	13,2	15,5	7,5
E	8,3	13,2	38	7,5
ESE	8,3	13,2	60,5	7,5
SE	8,3	13,2	83	7,5

Como profundidad se ha tomado la más desfavorable, es decir, la profundidad a pie de dique más la carrera de marea en la zona de estudio que en nuestro caso es de 0,5 metros.

A continuación se muestran los resultados obtenidos con el programa mencionado anteriormente:

Deep Water Values:	L (m) =	109.9888
Wave Height (m)?	8.3	k=2 pi/L =
Period	13.2	C =L/T =
Wave Angle (o)?	7	Cg =
Local Depth?	7.5	n= Cg/C =
		Ks =
		Kr =
		Angle =
Calculate	Reset	H =
		u_b=

Ilustración 8. Programa "Wave Calculator"

- NE: Hs corregida = 6 m rompe
- ENE: Hs corregida = 6 m rompe
- E: Hs corregida = 6 m rompe
- ESE: Hs corregida = 6 m rompe
- SE: Hs corregida = 6 m rompe

Resumiendo, la altura significativa de ola corregida es la misma para todas las direcciones, produciéndose la rotura de ola por fondo.

5.2 Régimen medio

Se procede de la misma forma que para el régimen extremal. Siendo, en este caso, los datos a introducir en el programa Wave Calculator los siguientes:

Dirección	H _s (m)	T _p (seg)	Alfa (°)	Profundidad (m)
NE	3,5	7,66	7	7,5
ENE	3,2	7,24	15,5	7,5
E	2,1	5,55	38	7,5
ESE	1,6	4,68	60,5	7,5
SE	1,3	4,1	83	7,5

Los resultados obtenidos son:

- NE: Hs corregida = 3,326 m
- ENE: Hs corregida = 2,98 m



- E: Hs corregida = 1,835 m
- ESE: Hs corregida = 1,324 m
- SE: Hs corregida = 0,757 m

En régimen medio, la altura de ola significativa no rompe en ninguna dirección.