

ANEJO 4. CLIMA MARÍTIMO



ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	3
2.- DATOS SIMAR.....	4
3.- VIENTO	5
4.- OLEAJE.....	8
4.1.- Régimen medio	8
4.2.- Régimen extremal.....	11
5.- REFERENCIAS.....	14

1.- INTRODUCCIÓN

El estudio del clima marítimo es fundamental para la realización de un proyecto de Costas. De esta manera pueden caracterizarse las acciones que influyen en la zona de actuación. Estas acciones son el viento, el oleaje, las corrientes y las mareas.

Dada la flexibilidad de las playas ante actuaciones humanas o hechos naturales, resulta necesario conocer las características del oleaje para saber cómo será la respuesta de estas, a largo (régimen medio) y corto plazo (régimen extremal), ante las modificaciones que se producirán en su estructura al realizar alguna intervención. Además, los datos de oleaje extremo resultan imprescindibles para el correcto dimensionamiento de las actuaciones proyectadas.

Para el análisis de las diferentes acciones se va a utilizar los datos disponibles en el Banco de Datos Oceanográficos de Puertos del Estado:

- Conjunto de datos representativos de la zona procedentes del modelado numérico: puntos SIMAR O WANA. Se trata de una red de nodos que ofrecen series temporales de parámetros de viento y oleaje en base a una modelación numérica, es decir, no proceden de medidas directas. Estos datos los desarrolla Puertos del Estado en colaboración con la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).
- Conjunto de datos proporcionados por la Red de Boyas de Aguas Profundas de Puertos del Estado, o Red Exterior. Esta red está formada por boyas situadas estratégicamente por toda la costa española, fondeadas a más de 200 metros de profundidad.



1. Boya de la Red de Boyas de Puertos del Estado. Fuente: Google.

2.- DATOS SIMAR

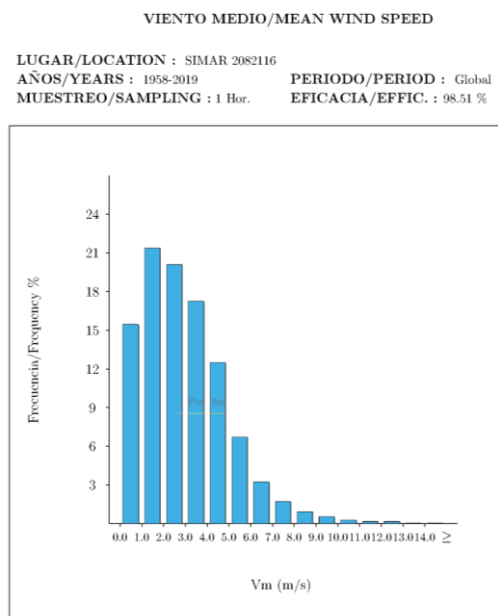
Para el análisis de las características del viento y el régimen medio de oleaje en las playas estudiadas se han utilizado los datos proporcionados por el punto WANA 2083116, puesto que es el más cercano. Este lleva en funcionamiento desde 1958. Sus coordenadas son las siguientes: Latitud: 39.67° N. Longitud: 0.17° W.



2. Localización del nodo. Fuente: elaboración propia.

3.- VIENTO

Analizando en primer lugar el histograma de viento desde 1958, año en el que el nodo empezó a funcionar, hasta la actualidad, se observa que las velocidades medias del viento más frecuentes se encuentran entre 1 y 3 m/s.



3. Histograma de viento. Fuente: Puertos del Estado (2019).

La tabla que se expone a continuación muestra las velocidades máximas del viento y su dirección en cada mes del año 2018, junto con el día y la hora en que se produjeron. En los meses de verano predominan los vientos del nordeste mientras que el resto del año las máximas rachas varían de dirección.

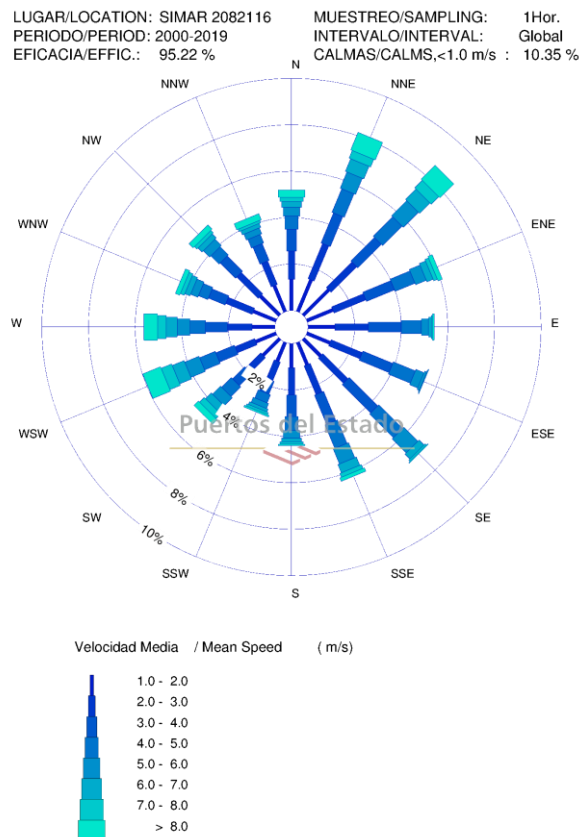
Vm:	Intensidad del Viento Medio /Mean Wind Speed	m/s
Dir:	Dirección media de procedencia/Mean Direction, "coming from"	0= Norte/North;90= Este/East

Punto WANA 2082116 Año 2018/ 2082116 WANA Point 2018				
Mes/Month	Vm Max./Max. Vm	Dir	Día/Day	Hora/Hour
Enero/January	17.73	37	28	10
Febrero/February	11.74	27	27	03
Marzo/March	14.01	302	31	10
Abril/April	14.56	265	29	16
Mayo/May	13.49	43	12	21
Junio/June	12.29	162	05	17
Julio/July	11.41	31	11	19
Agosto/August	14.47	43	09	18
Septiembre/September	11.34	13	10	09
Octubre/October	13.66	41	18	15
Noviembre/November	14.86	267	25	12
Diciembre/December	11.76	250	16	15

Tabla 1. Valores máximos por meses, año 2018. Fuente: Puertos del Estado (2019).

La mejor representación de la dirección del viento viene dada por la rosa de los vientos. A continuación se presenta la rosa anual obtenida entre los años 2000 y 2019. De estos datos se concluye que los regímenes de viento predominantes son los de componente NE y NNE, con el 8,5% y el 8% del total respectivamente. Cabe destacar que estos vientos proceden del mar.

Por otro lado, el viento más común (10,35%) corresponde a velocidades menores a 1 m/s, lo que se denominan periodos de calma.

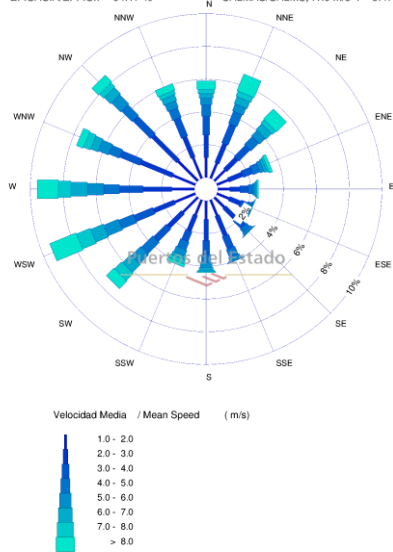


4. Rosa de los vientos anual (2000-2019). Fuente: Puentes del Estado (2019).

Para una mejor caracterización del viento, se incluyen a continuación las rosas de los vientos de cada una de las estaciones. En ellas se pueden observar las variaciones de dirección y frecuencia que se produce en función de la época del año:

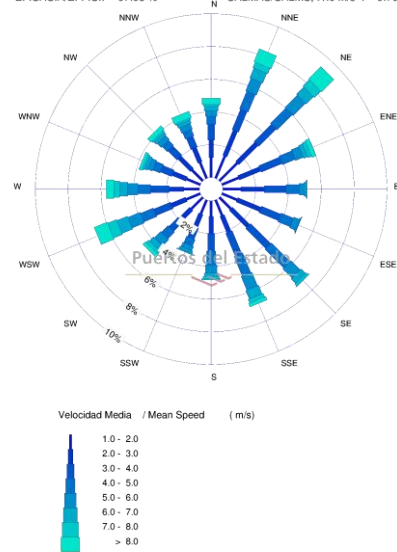
- En el periodo invernal predominan los vientos procedentes del oeste, seguidos de cerca por los del WSW.
- En primavera destacan los vientos del NE y NNE.
- Durante los meses de verano los vientos más frecuentes provienen del NE y del SE.
- Por último, en otoño predominan los vientos que proceden del NNE.

LUGAR/LOCATION: SIMAR 2082116 MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
PERIODO/PERIOD: 2000-2019 INTERVALO/INTERVAL: Dic.-Feb.
EFICACIA/EFFIC.: 94.17 % CALMAS/CALMS,<1.0 m/s : 9.47 %



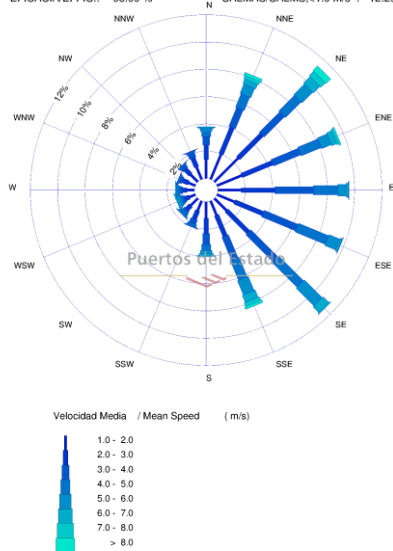
6. Invierno. Fuente: Puertos del Estado (2019).

LUGAR/LOCATION: SIMAR 2082116 MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
PERIODO/PERIOD: 2000-2019 INTERVALO/INTERVAL: Mar.-May.
EFICACIA/EFFIC.: 97.98 % CALMAS/CALMS,<1.0 m/s : 9.70 %



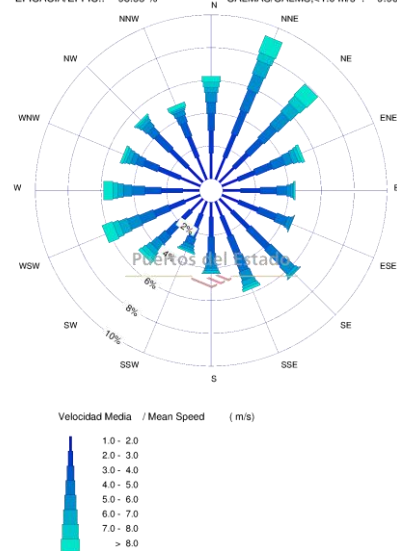
7. Primavera. Fuente: Puertos del Estado (2019).

LUGAR/LOCATION: SIMAR 2082116 MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
PERIODO/PERIOD: 2000-2018 INTERVALO/INTERVAL: Jun.-Ago.
EFICACIA/EFFIC.: 98.99 % CALMAS/CALMS,<1.0 m/s : 12.29 %



8. Verano. Fuente: Puertos del Estado (2019).

LUGAR/LOCATION: SIMAR 2082116 MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
PERIODO/PERIOD: 2000-2018 INTERVALO/INTERVAL: Sep.-Nov.
EFICACIA/EFFIC.: 98.55 % CALMAS/CALMS,<1.0 m/s : 9.96 %



5. Otoño. Fuente: Puertos del Estado (2019).

4.- OLEAJE

4.1.- Régimen medio

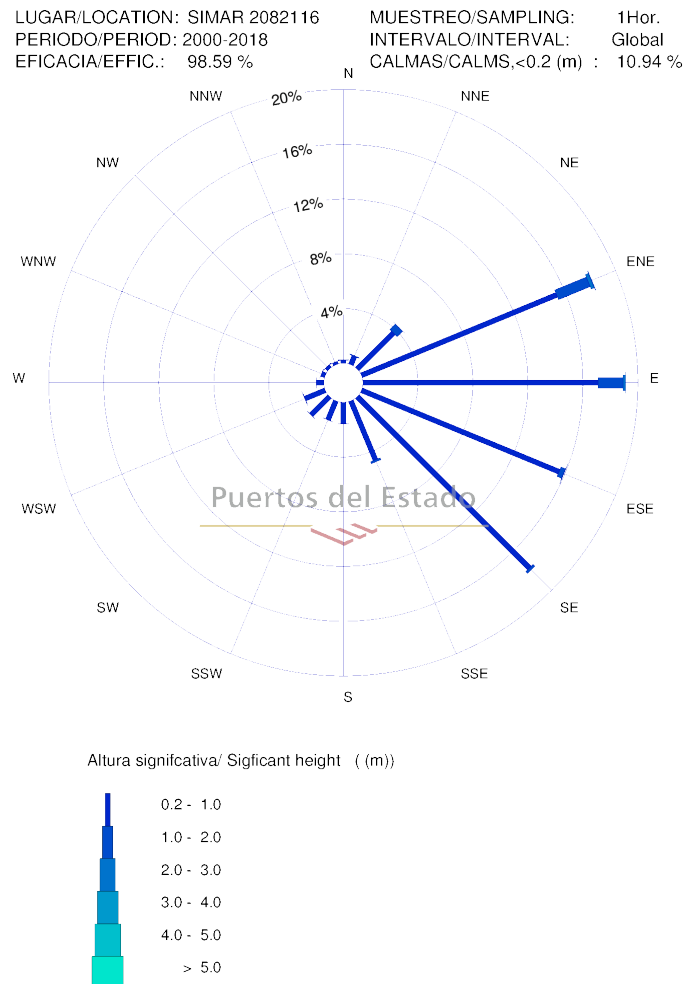
Las siguientes tablas relacionan la altura significativa con el periodo de pico y la dirección de procedencia del oleaje entre 1958-2017. Como puede observarse en ellas, la dirección predominante es el E; la altura significativa es menor de 0,5 metros en casi el 70% de los casos; y destacan periodos de pico de entre 5 y 7 segundos. Con una frecuencia ínfima se han dado alturas significativas de ola de 4,5 metros.

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	19.639												19.639
N 0.0		.077	.025	.010	.003	-	-	-	-	-	-	-	.115
NNE 22.5		.165	.119	.015	.003	-	-	-	-	-	-	-	.302
NE 45.0		1.117	.620	.150	.029	.002	.001	-	-	-	-	-	1.919
ENE 67.5		7.991	4.878	.716	.184	.047	.023	.009	.003	-	-	-	13.851
E 90.0		10.722	9.418	2.438	.770	.251	.065	.008	.002	.001	-	-	23.676
ESE 112.5		11.493	4.331	.383	.089	.024	.003	-	-	-	-	-	16.324
SE 135.0		11.452	4.631	.113	.012	-	-	-	-	-	-	-	16.209
SSE 157.5		2.549	.774	.054	.003	-	-	-	-	-	-	-	3.380
S 180.0		1.257	.175	.008	-	-	-	-	-	-	-	-	1.440
SSW 202.5		.952	.125	.003	-	-	-	-	-	-	-	-	1.079
SW 225.0		.731	.196	.008	.001	-	-	-	-	-	-	-	.935
WSW 247.5		.400	.179	.006	.002	-	-	-	-	-	-	-	.588
W 270.0		.188	.043	.001	.001	-	-	-	-	-	-	-	.234
WNW 292.5		.100	.019	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	.121
NW 315.0		.086	.014	.003	-	-	-	-	-	-	-	-	.103
NNW 337.5		.060	.020	.005	-	-	-	-	-	-	-	-	.085
Total	19.639	49.339	25.567	3.914	1.099	.326	.091	.017	.006	.001	-	-	100 %

Tabla 2. Altura de ola (Hs) - Dirección de procedencia. Fuente: Puertos del Estado (2017).

Hs (m)	Tp (s)											Total
	≤ 1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	> 10.0	
≤ 0.5	-	0.615	8.057	13.479	15.691	14.621	7.998	4.480	2.678	1.112	0.214	68.945
1.0	-	-	0.244	2.795	4.597	5.752	5.729	3.395	1.881	0.867	0.333	25.594
1.5	-	-	-	0.028	0.146	0.501	0.999	0.867	0.716	0.444	0.215	3.919
2.0	-	-	-	-	0.009	0.024	0.171	0.298	0.270	0.219	0.109	1.100
2.5	-	-	-	-	-	0.001	0.009	0.087	0.108	0.084	0.037	0.326
3.0	-	-	-	-	-	-	-	0.008	0.038	0.030	0.016	0.091
3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0.003	0.004	0.009	0.017
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.005	0.006
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	0.001
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-	0.615	8.302	16.302	20.444	20.899	14.906	9.136	5.695	2.762	0.939	100 %

Por otro lado, se puede analizar la dirección de procedencia del oleaje y su frecuencia mediante las rosas de oleaje. La siguiente muestra el oleaje en el periodo comprendido entre el 2000 y el 2018.



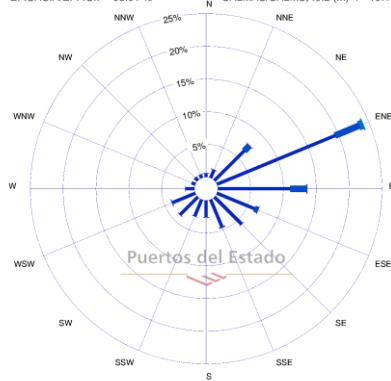
9. Rosa de oleaje anual (2000-2018). Fuente: Puertos del Estado (2018).

A partir de la rosa se puede establecer que la dirección predominante del oleaje es el E con una frecuencia de casi 20%, seguida de las direcciones ENE y SE con un 18% aproximadamente. Los periodos de calmas suponen un 11% del total.

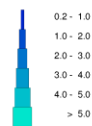
En la siguiente página se incluyen las rosas de oleaje de cada estación del año, del mismo modo que se ha hecho en el análisis del viento.

Tanto en otoño como en invierno destaca la dirección ENE, mientras que en los meses primaverales el este es la dirección más frecuente. En verano, predomina la dirección SE.

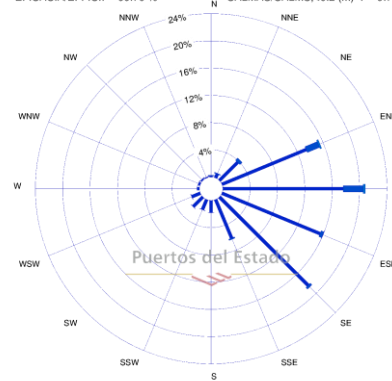
LUGAR/LOCATION: SIMAR 2082116 MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
PERIODO/PERIOD: 2000-2018 INTERVALO/INTERVAL: Dic.-Feb.
EFICACIA/EFFIC.: 95.91 % CALMAS/CALMS.<0.2 (m) : 19.19 %



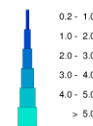
Altura significativa/ Significant height ((m))



LUGAR/LOCATION: SIMAR 2082116 MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
PERIODO/PERIOD: 2000-2018 INTERVALO/INTERVAL: Mar.-May.
EFICACIA/EFFIC.: 99.70 % CALMAS/CALMS.<0.2 (m) : 9.78 %



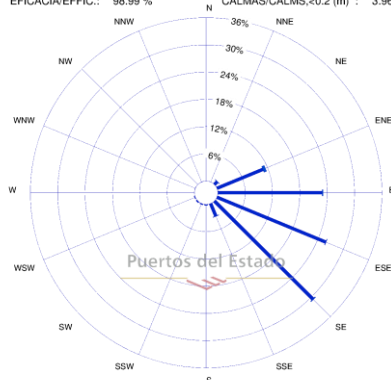
Altura significativa/ Significant height ((m))



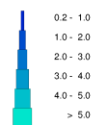
11. Invierno. Fuente: Puertos del Estado (2018).

10. Primavera. Fuente: Puertos del Estado (2018).

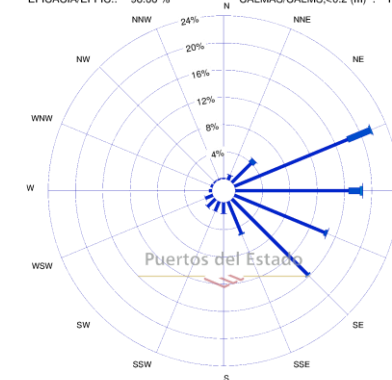
LUGAR/LOCATION: SIMAR 2082116 MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
PERIODO/PERIOD: 2000-2018 INTERVALO/INTERVAL: Jun.-Ago.
EFICACIA/EFFIC.: 98.99 % CALMAS/CALMS.<0.2 (m) : 3.96 %



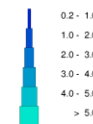
Altura significativa/ Significant height ((m))



LUGAR/LOCATION: SIMAR 2082116 MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
PERIODO/PERIOD: 2000-2018 INTERVALO/INTERVAL: Sep.-Nov.
EFICACIA/EFFIC.: 98.66 % CALMAS/CALMS.<0.2 (m) : 11.20 %



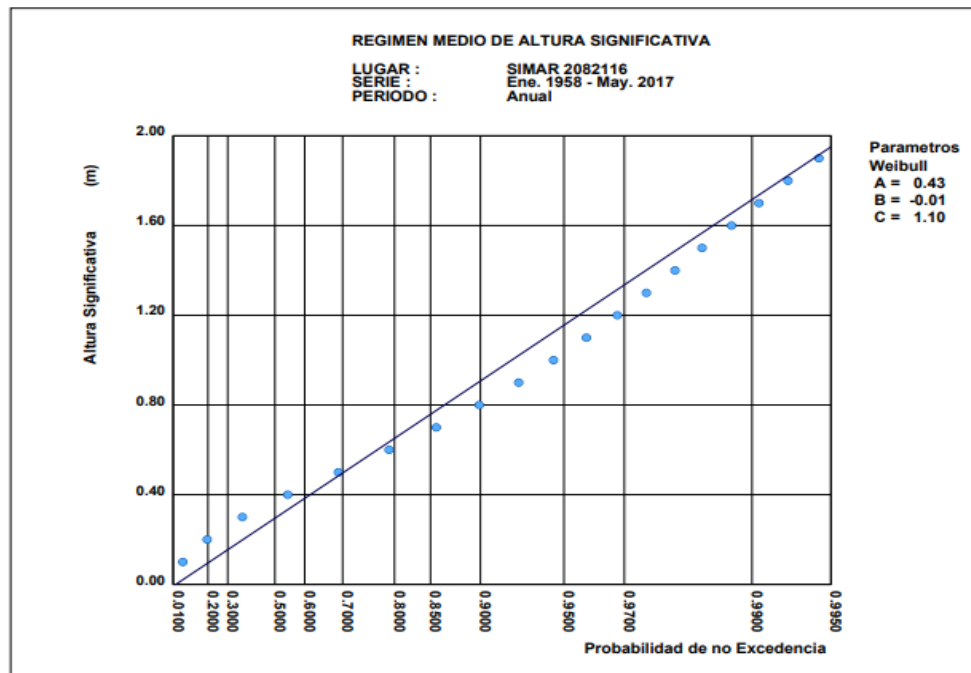
Altura significativa/ Significant height ((m))



13. Verano. Fuente: Puertos del Estado (2018).

12. Otoño. Fuente: Puertos del Estado (2018).

Por último, la siguiente gráfica muestra la probabilidad de no excedencia de cada altura significativa de ola.



14. Probabilidad de no excedencia - Altura significativa (m). Fuente: Puertos del Estado (2017).

4.2.- Régimen extremal

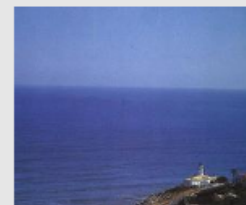
Para proyectar actuaciones en la costa se debe tener en cuenta la acción del oleaje en situación de temporal, es decir, situaciones en las que la altura de ola alcanza valores poco frecuentes. Su estudio es fundamental ya que las instalaciones pueden ver comprometidas su seguridad estructural o su operatividad.

El régimen extremal es un modelo estadístico que describe la probabilidad con la que se puede presentar un temporal de cierta altura de riesgo. Para el estudio de este se toman los datos de la Boya de Valencia perteneciente a la Red Exterior.



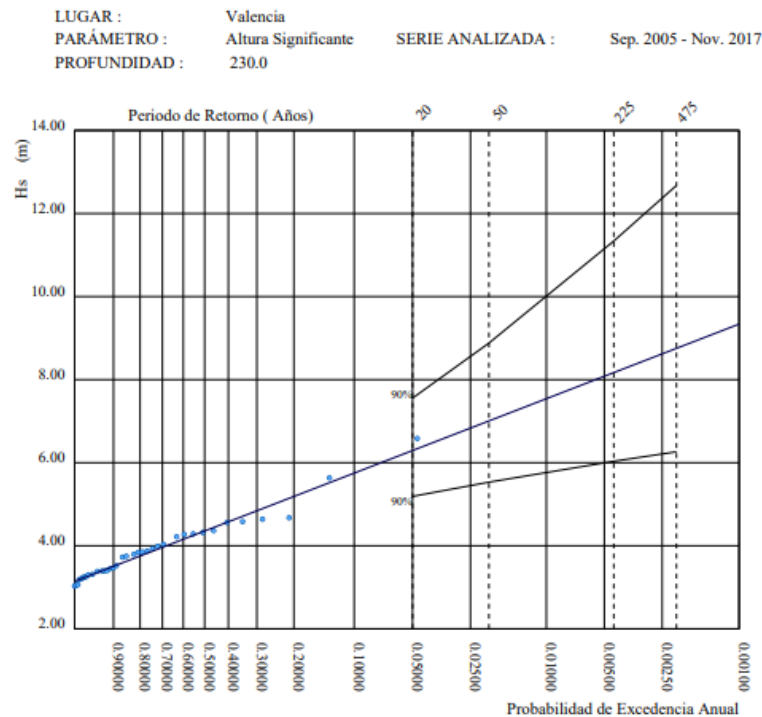
15. Localización de la Boya de Valencia. Fuente: elaboración propia.

Boya de Valencia	
Acceso a datos	Información del Punto
Longitud:	0.21° E
Latitud:	39.52° N
Cadencia:	60 minutos
Código:	2630
Profundidad:	260 m
Inicio de medidas:	15-09-2005
Fin de medidas:	01-05-2019
Tipo de sensor:	Direccional Met-Oce
Modelo:	SeaWatch
Conjunto de Datos:	REDEXT



16. Información de la Boya de Valencia. Fuente: Puertos del Estado (2019).

La siguiente gráfica muestra la relación de altura significativa de ola (H_s) y la probabilidad de excedencia anual.



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

Parametros del Ajuste POT de Altura Significante

Umbral de Excedencia	3.00 (m)	Parametros de la	Alfa = 3.13
Num. Min. de Dias Entre Picos	5.00	Distribucion Weibull	Beta = 0.67
Num. Med. Anual de Picos (Lambda)	4.13	de Excedencias	Gamma = 0.95

Relacion entre Altura Significante (m) y Periodo de Pico (s)

$$T_p = 3.48 H_s^{0.63}$$

17. Altura significativa (H_s) - Probabilidad de excedencia anual. Fuente: Puertos del Estado (2017).

5.- CORRIENTES

Las corrientes marinas son movimientos de masas de agua que se producen en los océanos y en los mares más grandes. Se deben a diversos factores, principalmente a los movimientos de rotación y traslación de la Tierra, a la configuración de las costas, a la ubicación de los continentes y a las diferencias de densidad de las aguas.

En función de sus características, se puede diferenciar los siguientes tipos de corrientes marinas:

- **Corrientes oceánicas:** Son las producidas por la rotación terrestre, por lo que presentan un desplazamiento constante en sentido este-oeste en la zona intertropical y en sentido contrario en latitudes medias o altas. Se trata del mismo fenómeno que sucede con los vientos planetarios, desplazamientos producidos por inercia.
- **Corrientes de marea:** Se trata de corrientes periódicas de ciclo diario producidas por la atracción principalmente de la Luna sobre la superficie del agua. Provocan el intercambio de grandes cantidades de agua entre el hemisferio norte y el sur. En el Mediterráneo las mareas no son lo suficientemente importantes como para producir corrientes.
- **Corrientes de oleaje:** Al romper, el oleaje genera un desplazamiento de la masa de agua en dirección a la orilla que posteriormente retorna hacia el mar. De esta manera, en la línea de rompientes existen corrientes con sentidos opuestos. Este tipo de corrientes regulan el transporte transversal de los sedimentos en las zonas próximas a la costa.

De entre las corrientes de oleaje destacan las corrientes de retorno o rip-current. Son corrientes perpendiculares a la costa formadas por aguas turbulentas y finas en suspensión. Formadas por dos masas de agua que circulan paralelamente a la costa en sentido opuesto una respecto a la otra hasta que convergen y se desvían hacia el mar, formando un flujo de agua rápido.

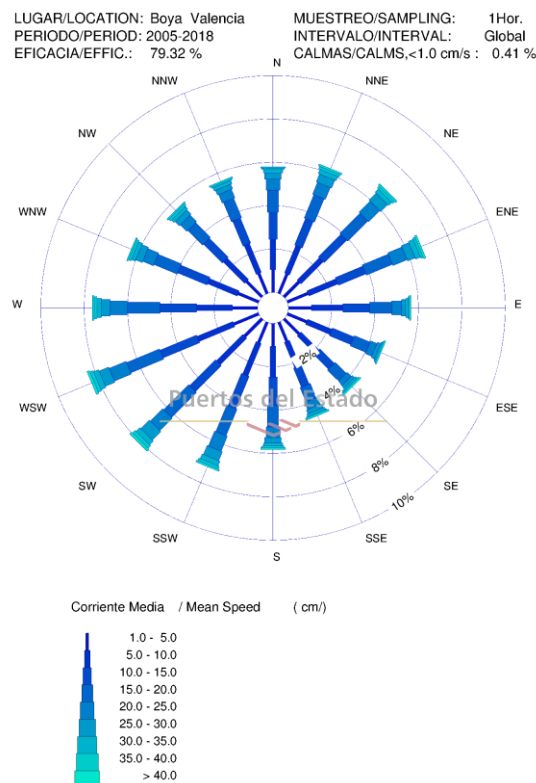
- **Corrientes de deriva litoral:** Se deben al encuentro de las corrientes con configuraciones de la costa que modifican su orientación o dirección. En el Mediterráneo, las corrientes más importantes avanzan de forma paralela a la costa, adaptándose a las formas que encuentran a su paso.
- **Corrientes de densidad:** Se originan en la zona de contacto de dos masas de agua que presentan distinta densidad, ya sea por salinidad o temperatura de las mismas. Suelen presentarse en estrechos que conectan mares distintos, a lo largo del ecuador o a lo largo del círculo polar ártico.

En el Mediterráneo se produce una corriente circular en sentido anti horario producida por la rotación de la Tierra, el agua que entra del Atlántico genera una corriente superficial que transcurre junto a la costa africana por efecto de la fuerza de Coriolis y va adaptándose a la forma de la costa. Parte de esta masa de agua se bifurca hacia el norte en dirección a las islas baleares donde se encuentra con la corriente anticiclónica del mar de Alborán. En los Dardanelos, el agua procedente del Mar Negro se une a este flujo circular. Como puede verse en la siguiente imagen, en la zona de actuación el sentido de la corriente es norte-sur.



18. Corriente general del Mediterráneo. Fuente: Magdalena, R. (2009).

A continuación se muestra la rosa de corrientes medias en la Boya de Valencia en el periodo 2005-2018.



19. Rosa de corrientes en la Boya de Valencia. Fuente: Puertos del Estado (2018).

6.- MAREAS

Las mareas son oscilaciones periódicas del nivel del mar. Según la causa que origine la marea, esta puede ser:

- **Marea astronómica:** Movimiento periódico de elevación y descenso del nivel del mar debido a las atracciones gravitatorias de la luna y el sol. Su intensidad depende de la posición relativa que estos tienen respecto de la tierra. Según los ciclos pueden ser:
 - **Diurnas:** Duración de 24 horas y 50 minutos, lo que dura un día lunar. Se produce una pleamar y una bajamar cada 12 horas y 25 minutos.
 - **Semi-diurnas:** con dos pleamares y dos bajamares en el transcurso de un día lunar. Es decir, cada 6 horas y 13 minutos aproximadamente se produce una pleamar o una bajamar.
 - **Mixtas:** Durante un día lunar hay dos pleamares y una bajamar o lo contrario.
- **Marea meteorológica:** Ascenso y descenso del nivel del mar debido a fenómenos meteorológicos. Principalmente ocasionados por cambios de presión atmosférica, aunque también por la acción del viento sobre la superficie del agua.

En la costa mediterránea, el orden de carrera de marea es muy pequeño comparado con las amplitudes que se producen en los grandes océanos. Esto es debido a que al ser una menor extensión de agua, no se ve tan afectada por el efecto de la atracción gravitatoria de la luna y el sol. La principal componente de la marea que se produce en el mar mediterráneo es la meteorológica, siendo casi nula la componente astronómica.

La carrera de marea causada por la presión atmosférica en Valencia suele ser de 0,5 metros. En cuanto a la marea astronómica los valores máximos registrados por el mareógrafo de Valencia están en -12 y +36 cm.



7.- REFERENCIAS

- MINISTERIO DE FOMENTO. *Puertos del Estado, Oceanografía*. <<http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>> [Consulta: 1 de Mayo de 2019].