



MINISTERIO
DE FOMENTO

Puertos del Estado



EXTREMOS MÁXIMOS DE OLEAJE
POR DIRECCIONES
(ALTURA SIGNIFICANTE)

BOYA DE BILBAO-VIZCAYA

CÓDIGO B.D.	2136
PERIODO	1990 - 2023
LONGITUD	-3.052 E
LATITUD	43.640 N
PROFUNDIDAD	600 m

BANCO DE DATOS OCEANOGRÁFICOS
DE PUERTOS DEL ESTADO

NOTA:

El presente documento ha sido elaborado utilizando datos procedentes del Banco de Datos Oceanográficos de Puertos del Estado.

Los datos utilizados proceden tanto de las Redes de Medida como de los Modelos con los que cuenta Puertos del Estado. Dichos datos han sido almacenados tras aplicar controles de calidad y procesos de validación que garanticen la mayor fiabilidad posible.

Para su elaboración no ha sido tenida en cuenta la posible existencia de variaciones en el nivel medio del mar a largo plazo.

Los resultados contenidos en este documento tienen carácter consultivo u orientativo, por lo que en ningún caso Puertos del Estado se hará valedor o responsable de las consecuencias que se pudieran derivar de su uso.

Índice

1. Conceptos y Fórmulas Útiles	4
1.1. Régimen Extremal	4
1.2. Temporal. Picos sobre un Umbral	4
1.3. Probabilidad Anual de Excedencia	5
1.4. Periodo de Retorno	5
1.5. Vida Útil y Probabilidad de Excedencia de la Altura de Diseño.	6
1.6. Altura Significante y Periodo de Pico en situación de temporal.	7
2. Utilizando la Información de las tablas.	7
3. Resultados Escalares.	9
4. Resultados por Direcciones.	10
4.1. Direcciones Dominantes:Rosa de ALTURA SIGNIFICANTE	10
4.2. Sector Direccional N	11
4.3. Sector Direccional W	12
4.4. Sector Direccional NW	13

1. Conceptos y Fórmulas Útiles

1.1. Régimen Extremal

La seguridad y la operatividad de una instalación en la costa puede estar condicionada por la acción del oleaje en situación de temporal. Es decir, en situaciones donde la altura del oleaje alcanza una intensidad poco frecuente.

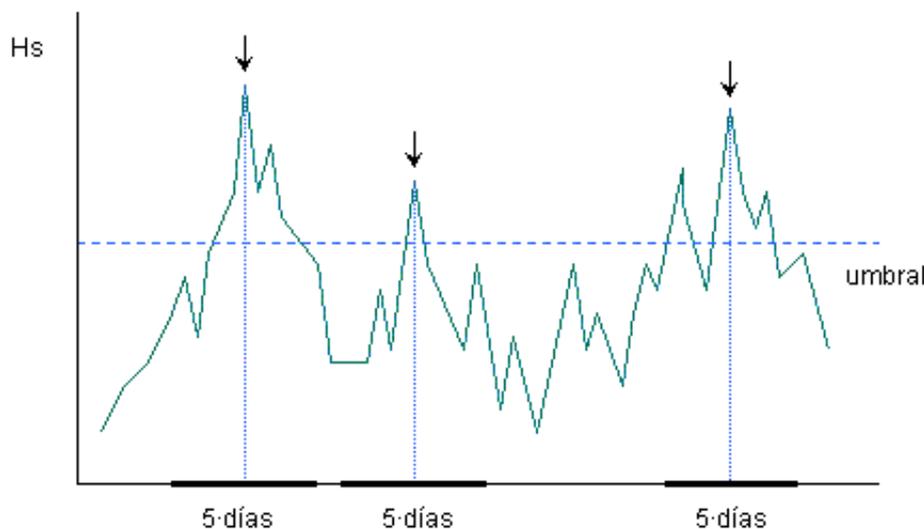
Con el fin de acotar el riesgo que corre una instalación, debido a la acción del oleaje, es necesario tener una estimación de la frecuencia o probabilidad con la que se presentan temporales que superen una cierta Altura Significante de ola.

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.

1.2. Temporal. Picos sobre un Umbral

En este informe se denomina temporal a aquella situación durante la cual la altura del oleaje supera un cierto umbral. Se supone, además, que el tiempo mínimo que transcurre entre la aparición de dos temporales independientes es de 5 días.

Un temporal queda representado por el pico o valor máximo de altura alcanzado por el oleaje durante un periodo de 5 días.



El método de selección de temporales descrito se conoce como POT (Peak Over Threshold). La figura superior ilustra como se realiza la selección de los valores de

altura que representan el comportamiento extremal de una serie.

1.3. Probabilidad Anual de Excedencia

La probabilidad de que el **mayor** temporal ocurrido en **un año** tenga una Altura Significante **superior** a un cierto valor H_a preestablecido está dado por la expresión.

$$P_a(x) = 1 - e^{-\lambda(1-F_w(H_a))}$$

Donde λ es el número medio de temporales ocurridos en un año, y F_w es la distribución Weibull de excedencias cuya expresión es:

$$F_w(H_a) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H_a - \alpha}{\beta}\right)^\gamma\right)$$

Los valores de los parámetros λ , α , β y γ se proporcionan en la sección de resultados.

1.4. Periodo de Retorno

El número de años que **en promedio** transcurren entre temporales que superan un cierto valor de Altura Significante H_r , se denomina Periodo de Retorno T_r asociado a la Altura de Retorno H_r .

La relación entre T_r y H_r está dada por la siguiente expresión:

$$T_r = \frac{1}{P_a(H_r)}$$

Donde P_a es la Probabilidad Anual de Excedencia. Sustituyendo P_a por su expresión se obtiene la siguiente relación aproximada válida para valores de T_r superiores a 10 años:

$$H_r = \beta(-\ln(\frac{1}{\lambda T_r}))^{\frac{1}{\gamma}} + \alpha$$

El Periodo de Retorno es un modo intuitivo de evaluar como de "raro" o poco frecuente es un suceso. No obstante, es muy importante recordar que T_r **es un tiempo promedio**. De hecho, de modo general, la probabilidad de que la Altura de Retorno H_r asociada al Periodo de Retorno T_r se supere antes de T_r años tiende al valor 0.64.

1.5. Vida Útil y Probabilidad de Excedencia de la Altura de Diseño.

Para garantizar un cierto nivel de seguridad en una obra expuesta a la acción del oleaje es necesario proyectarla de modo que esté acotada la probabilidad de que, durante un tiempo predeterminado, pueda fallar por excedencia de la Altura de Diseño. La especificación del grado de seguridad conduce a los siguientes conceptos:

- Altura de Diseño . Al proyectar una obra se dimensiona de modo que sea capaz de soportar la acción de temporales con altura menor o igual a la Altura de Diseño.
- Vida Útil. La Vida Útil de un proyecto es el periodo de tiempo durante el cual es necesario garantizar la permanencia en servicio de una instalación. En el caso de una obra en ejecución, la vida útil es el tiempo esperado para el desarrollo de la obra.
- Probabilidad de Excedencia. Es la probabilidad de que al menos un temporal supere la Altura de Diseño dentro del tiempo de Vida Útil.

La determinación de la Altura de Diseño, y por tanto, el nivel de seguridad, se realiza especificando el valor admisible de la Probabilidad de Excedencia de la Altura de Diseño durante el tiempo de Vida Útil. A su vez la Vida Útil y la Probabilidad de Excedencia admisible se determinan en función de los costos económicos y sociales de un posible fallo.

La Probabilidad de Excedencia P_L de la Altura de Diseño H_d en una Vida Útil de L años viene dada por la relación:

$$P_L(H_d) = 1 - (1 - P_a(H_d))^L$$

El Periodo de Retorno T_r asociado a la altura de diseño H_d está ligado a la Probabilidad de Excedencia en una Vida Útil de L años a través de la siguiente relación:

$$T_r = -\frac{L}{\ln(1 - P_L)}$$

1.6. Altura Significante y Periodo de Pico en situación de temporal.

En este trabajo se ha supuesto que la Altura Significante caracteriza de modo principal la severidad de un temporal. No obstante, la acción de un temporal sobre una estructura también depende del Periodo del Oleaje.

Por ello, una vez seleccionados los picos de temporal se establece una relación empírica entre el Periodo de Pico y la Altura Significante del oleaje ajustando por mínimos cuadrados una relación del tipo:

$$E(T_p) = aH_s^c$$

Donde $E(T_p)$ es el Valor Esperado o probable del Periodo de Pico para el pico de un temporal de altura significativa H_s .

2. Utilizando la Información de las tablas.

De modo general este informe la información se organiza en dos bloques. En primer lugar se muestra el resultado del modelo extremal ajustado para la serie escalar completa. Esto significa que para el ajuste no se han tenido en cuenta las direcciones asociadas a los extremos medidos. A continuación se muestran los resultados de modelo extremal ajustado para cada una de las direcciones más relevantes observadas en la serie histórica. Para complementar este capítulo se acompaña de la rosa de altura significativa.

Es importante tener en consideración que en algunos casos la boya no dispuso de sensor direccional hasta tiempo después de su puesta en funcionamiento. En esas circunstancias el periodo de tiempo con el que se hace el ajuste extremal escalar y el direccional no coincidirán.

Los resultados del modelo extremal ajustado se condensan del siguiente modo:

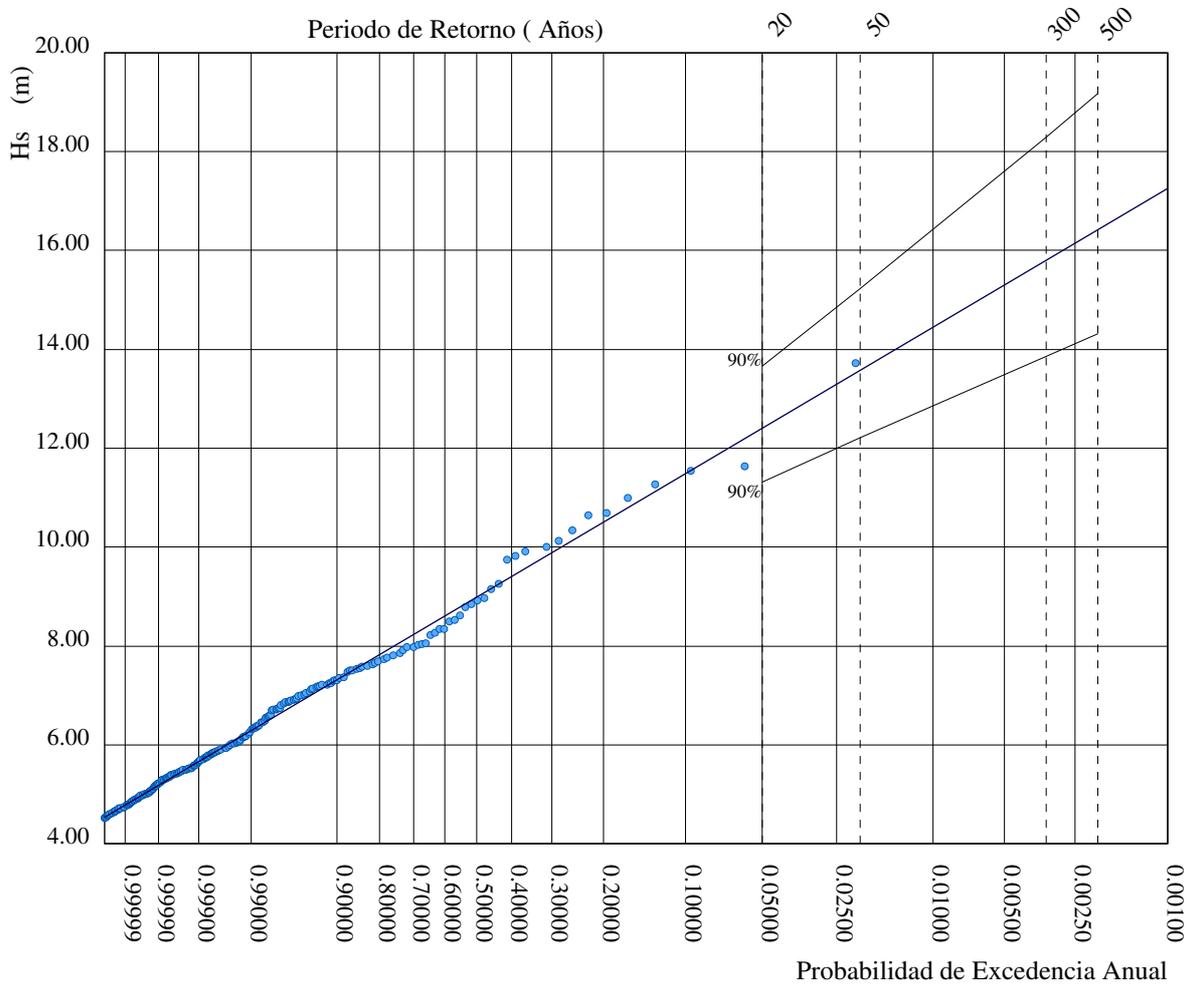
- Gráfico con el ajuste de los valores extremos a una distribución Weibull. En dicho gráfico se representa la siguiente información:
 - En eje de ordenadas se representa la altura de los temporales.
 - En eje de abcisas se representa la probabilidad anual de superación.
 - Los puntos dibujados representan la altura de los temporales observados.
 - La recta representa la función de distribución Weibul ajustada.
 - La intersección de las líneas verticales punteadas con la recta de ajuste determina las estimas centrales o alturas de retorno asociadas a diferentes periodos de retorno.

- La intersección de las líneas verticales con la banda superior permite valorar la incertidumbre existente al estimar las alturas de retorno.
- Tabla con resultados asociados a un conjunto de Periodos de Retorno de uso frecuente. Esta tabla incluye:
 - Lista de Periodos de Retorno.
 - Alturas de Retorno asociadas.
 - Bandas Superior de Confianza de las Alturas de Retorno.
 - Valor Esperado del Periodo de Pico para cada Alturas de Retorno.
 - Probabilidad de Excedencia de cada Altura de Retorno en una Vida Útil de 20 años.
 - Probabilidad de Excedencia de cada Altura de Retorno en una Vida Útil de 50 años.
- Parámetros α (*Alfa*), β (*Beta*), γ (*Gamma*), y Λ (*Lambda*) del modelo ajustado.
- Relación entre la Altura Significante de Ola y el Periodo de Pico.

3. Resultados Escalares.

REGIMEN EXTREMAL ESCALAR DE OLEAJE

LUGAR : Bilbao-Vizcaya
 PARÁMETRO : Altura Significante SERIE ANALIZADA : Nov. 1990 - Abr. 2023
 PROFUNDIDAD : 600.0



P. de Retorno (Años)	20.00	50.00	300.00	500.00
Estima Central de Hs (m)	12.41	13.58	15.80	16.42
Banda Sup. 90% Hs	13.66	15.23	18.29	19.17
Valor Esperado de Tp (s)	15.09	15.46	16.10	16.26
Prob. de Exc. en 20 Años	0.64	0.33	0.06	0.04
Prob. de Exc. en 50 Años	0.92	0.64	0.15	0.10

Parametros del Ajuste POT de Altura Significante

Umbral de Excedencia	4.50 (m)	Parametros de la	Alfa = 4.53
Num. Min. de Dias Entre Picos	5.00	Distribucion Weibull	Beta = 1.71
Num. Med. Anual de Picos (Lambda)	12.98	de Excedencias	Gama = 1.12

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

$$T_p = 7.72 H_s^{0.27}$$

4. Resultados por Direcciones.

4.1. Direcciones Dominantes: Rosa de ALTURA SIGNIFICANTE

LUGAR : Bilbao-Vizcaya

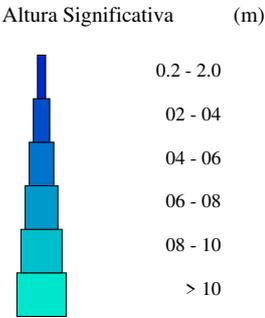
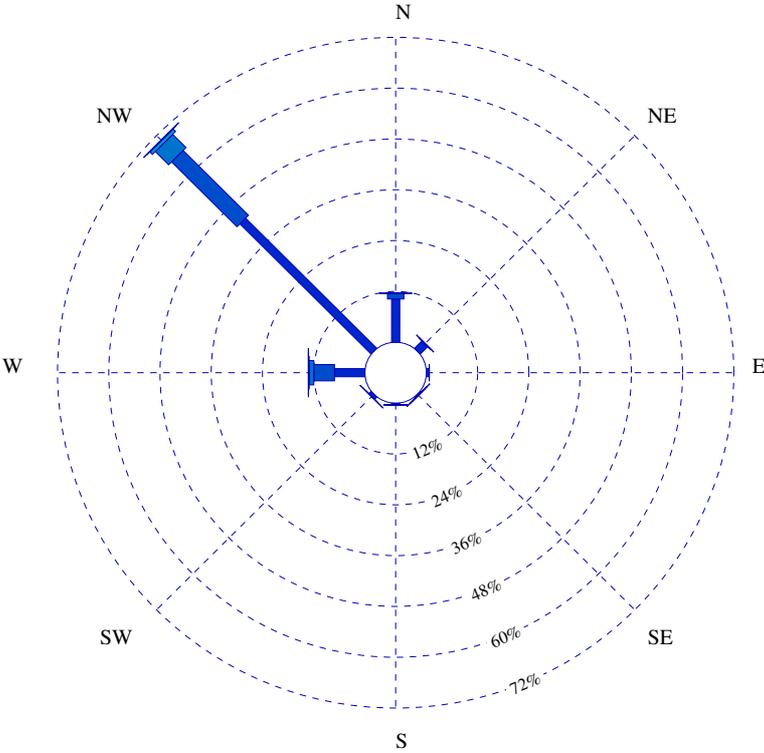
PERIODO : Global

CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia

SERIE ANALIZADA : Nov. 1990 - Abr. 2023

INTERVALO DE CALMAS : 0 - 0.2

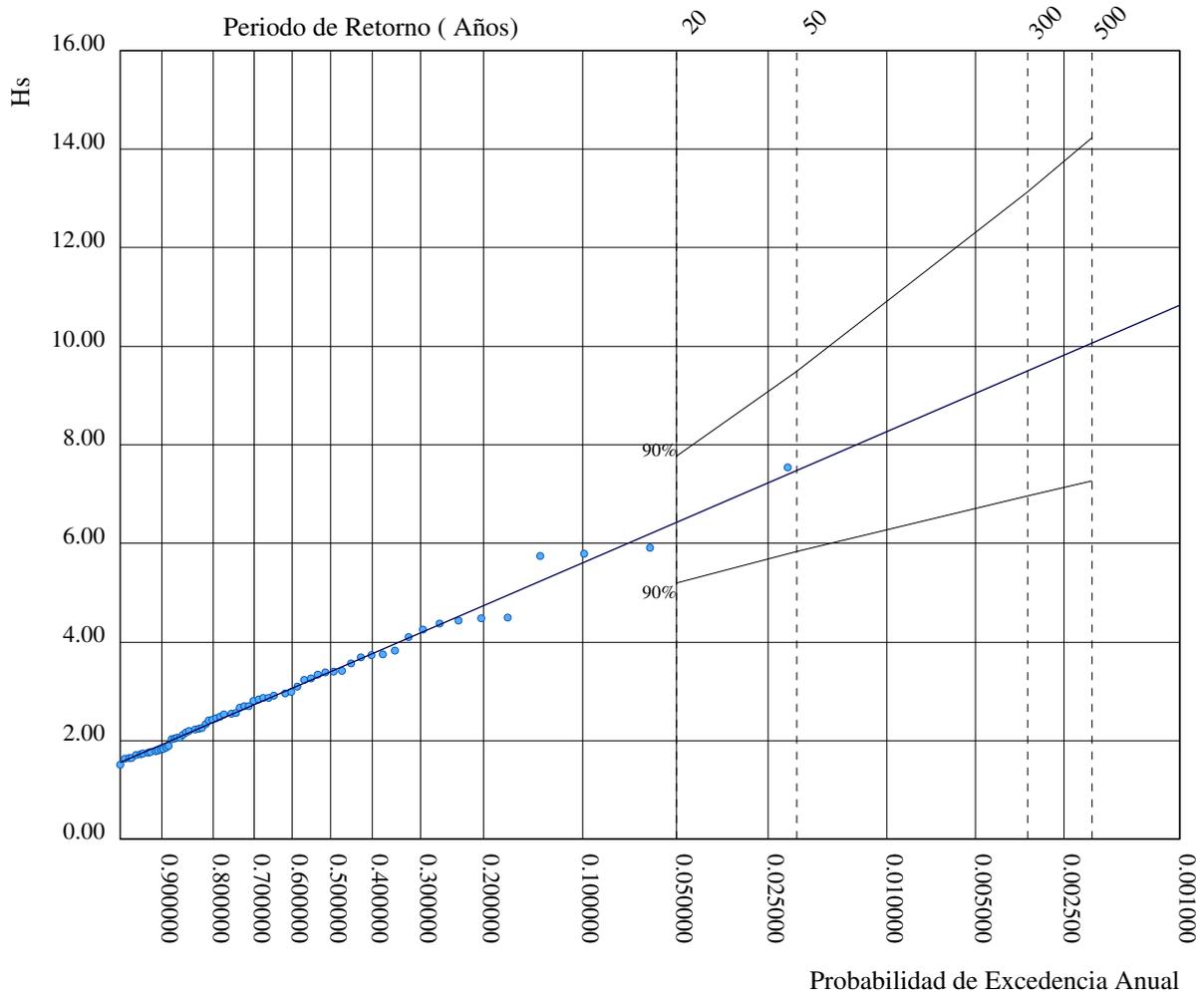
PORCENTAJE DE CALMAS : 0.00 %



4.2. Sector Direccional N

REGIMEN EXTREMAL DIRECCIONAL DE OLEAJE

LUGAR : Bilbao-Vizcaya SECTOR : N (337.5: 22.5)
 PARÁMETRO : Altura Significante SERIE ANALIZADA : Nov. 1990 - Abr. 2023
 PROFUNDIDAD : 600.0m



P. de Retorno (Años)	20.00	50.00	300.00	500.00
Estima Central de Hs (m)	6.43	7.48	9.50	10.07
Banda Sup. 90% Hs	7.77	9.50	13.14	14.24
Valor Esperado de Tp (s)	10.24	10.82	11.81	12.07
Prob. de Exc. en 20 Años	0.63	0.33	0.06	0.04
Prob. de Exc. en 50 Años	0.92	0.63	0.15	0.10

Parametros del Ajuste POT de Altura Significante

Umbral de Excedencia	1.50 (m)	Parametros de la	Alfa = 1.53
Num. Min. de Dias Entre Picos	5.00	Distribucion Weibull	Beta = 1.28
Num. Med. Anual de Picos (Lambda)	3.06	de Excedencias	Gamma = 1.05

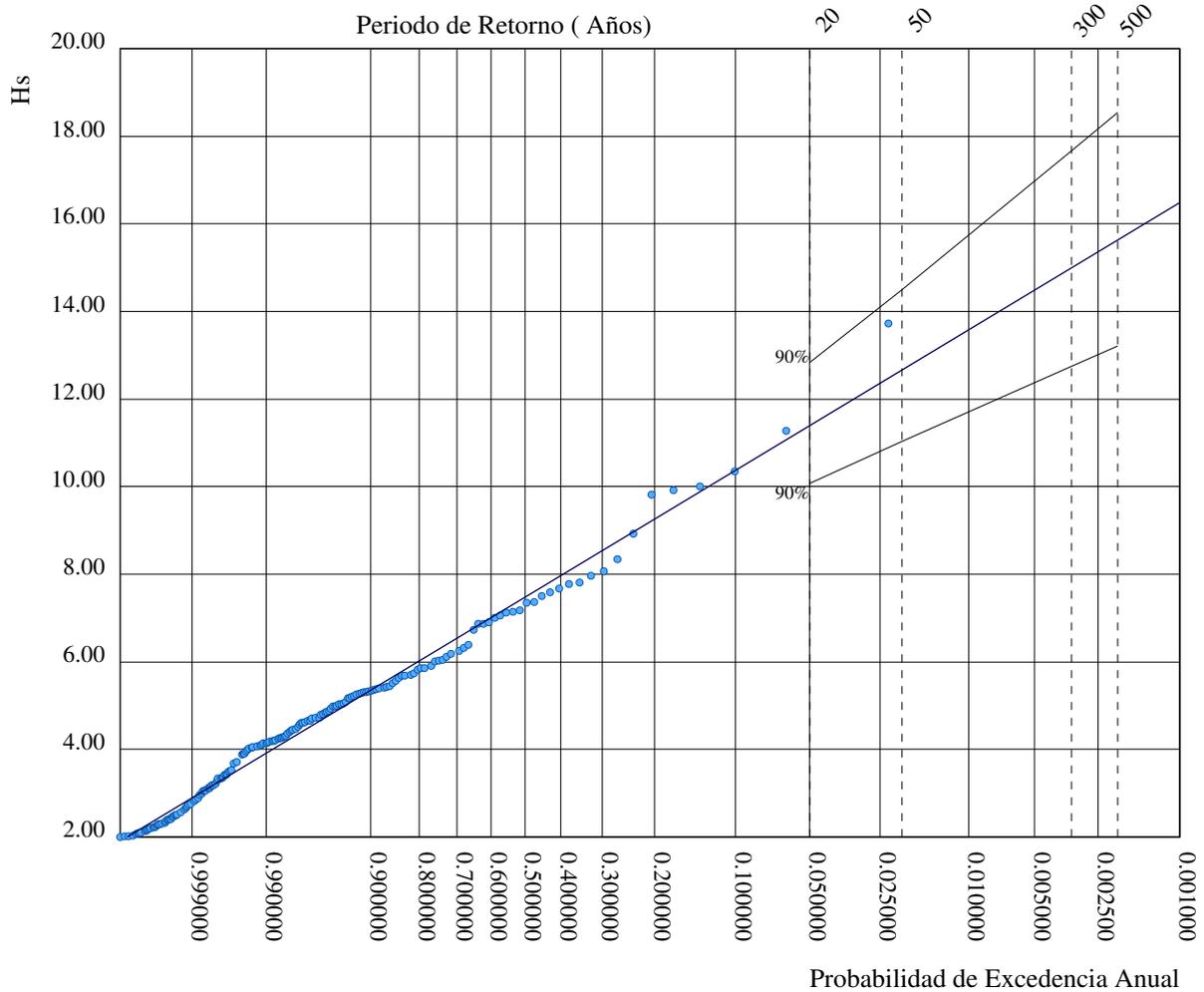
Relacion entre Altura Significante (m) y Periodo de Pico (s)

$$T_p = 5.18 H_s^{0.37}$$

4.3. Sector Direccional W

REGIMEN EXTREMAL DIRECCIONAL DE OLEAJE

LUGAR : Bilbao-Vizcaya SECTOR : W (247.5:292.5)
 PARÁMETRO : Altura Significante SERIE ANALIZADA : Nov. 1990 - Abr. 2023
 PROFUNDIDAD : 600.0m



P. de Retorno (Años)	20.00	50.00	300.00	500.00
Estima Central de Hs (m)	11.39	12.66	15.00	15.63
Banda Sup. 90% Hs	12.83	14.50	17.66	18.55
Valor Esperado de Tp (s)	14.86	15.43	16.38	16.62
Prob. de Exc. en 20 Años	0.63	0.33	0.06	0.04
Prob. de Exc. en 50 Años	0.92	0.63	0.15	0.10

Parametros del Ajuste POT de Altura Significante

Umbral de Excedencia	2.00 (m)	Parametros de la	Alfa = 1.87
Num. Min. de Dias Entre Picos	5.00	Distribucion Weibull	Beta = 2.74
Num. Med. Anual de Picos (Lambda)	9.09	de Excedencias	Gamma = 1.32

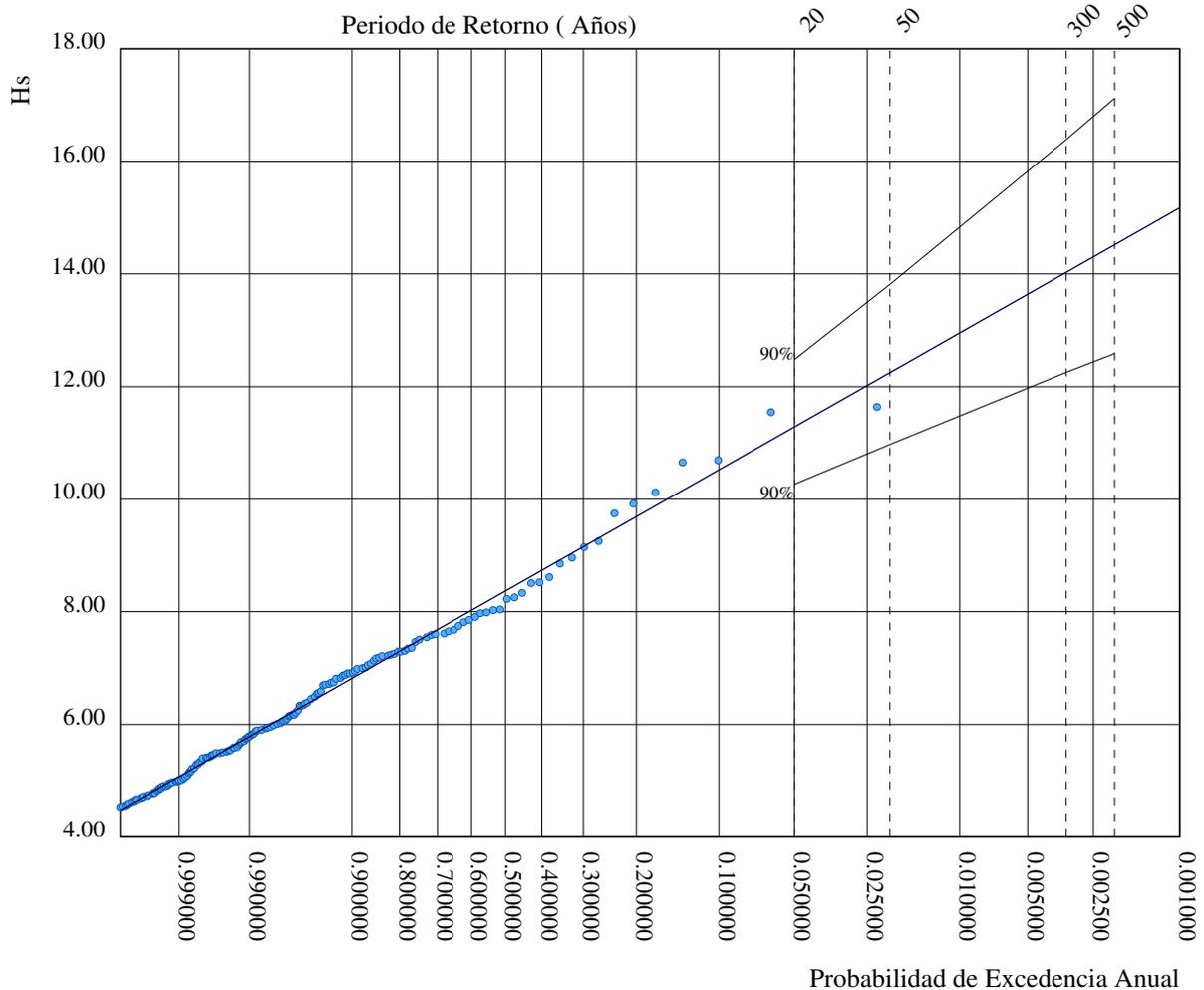
Relacion entre Altura Significante (m) y Periodo de Pico (s)

$$T_p = 6.30 H_s^{0.35}$$

4.4. Sector Direccional NW

REGIMEN EXTREMAL DIRECCIONAL DE OLEAJE

LUGAR : Bilbao-Vizcaya SECTOR : NW (292.5:337.5)
 PARÁMETRO : Altura Significante SERIE ANALIZADA : Nov. 1990 - Abr. 2023
 PROFUNDIDAD : 600.0m



P. de Retorno (Años)	20.00	50.00	300.00	500.00
Estima Central de Hs (m)	11.29	12.25	14.03	14.52
Banda Sup. 90% Hs	12.48	13.82	16.39	17.12
Valor Esperado de Tp (s)	14.66	14.93	15.40	15.52
Prob. de Exc. en 20 Años	0.63	0.33	0.06	0.04
Prob. de Exc. en 50 Años	0.92	0.63	0.15	0.10

Parametros del Ajuste POT de Altura Significante

Umbral de Excedencia	4.50 (m)	Parametros de la	Alfa = 4.45
Num. Min. de Dias Entre Picos	5.00	Distribucion Weibull	Beta = 1.86
Num. Med. Anual de Picos (Lambda)	8.89	de Excedencias	Gamma = 1.26

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

$$T_p = 8.46 H_s^{0.23}$$