

Atlas climático de diseño Oleaje

Guía para la caracterización climática de los entornos portuarios como soporte al desarrollo metodológico del programa ROM



En la elaboración de esta guía han participado las siguientes personas:

María Jesús Martín Soldevilla, Centro de Estudios de Puertos y Costas-CEDEX

Paloma Aberturas Ajenjo, Centro de Estudios de Puertos y Costas-CEDEX

Obdulio Serrano Hidalgo, Puertos del Estado

Susana Pérez Rubio, Puertos del Estado

Gonzalo Gómez Barquín, Puertos del Estado

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1 METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA DE LAS TORMENTAS.....	3
1.1 CONSIDERACIONES GENERALES	3
1.2 ELECCIÓN DE LA MUESTRA REPRESENTATIVA. MODELO DE CICLO DE SOLICITACIÓN	7
1.3 MODELO TEÓRICO DE TORMENTA. CARACTERIZACIÓN DEL CICLO DE SOLICITACIÓN.....	8
1.4 CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA DE LA DISTRIBUCIÓN CONJUNTA.....	9
1.5 CARACTERIZACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LAS TORMENTAS EN LA COSTA ESPAÑOLA	13
1.5.1 Características de la información utilizada	13
1.5.2 Análisis de la representatividad de las extrapolaciones.....	14
1.5.3 Caracterización de la evolución de las tormentas.....	15
2 . DESCRIPCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS PROPUESTOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE OBRAS MARÍTIMAS.....	15
2.1 CONSIDERACIONES GENERALES	15
2.2 APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA INFORMACIÓN RECOGIDA EN EL ATLAS DE OLEAJE EN EL MARCO DE LA ROM DE DIMENSIONAMIENTO DE OBRAS DE ABRIGO (CARACTERIZACIÓN DEL CICLO DE SOLICITACIÓN).....	18
3 EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE LA VERIFICACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO.....	28
3.1 EJEMPLO DE APLICACIÓN EN UN DIQUE EN TALUD CON SIMULACIÓN DE MONTECARLO (MÉTODO DE NIVEL III).....	28
a) Manto Principal	34
b) Berma de pie	36
c) Espaldón.....	37
3.2 EJEMPLO DE APLICACIÓN A DIQUES VERTICALES	41
ANEXO 1.....	54
ANÁLISIS DE LA REPRESENTATIVIDAD DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS TORMENTAS	54
ANEXO 2.....	67
ATLAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE OBRAS MARÍTIMAS EN EL MARCO DE LA ROM 0.0_01 Y ROM 1.0 _09	67

INTRODUCCIÓN

Dentro del marco de trabajo del programa de Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM), creado en los años 80 por la antigua Dirección General de Puertos del entonces Ministerio de Obras Públicas, con el fin de establecer los procedimientos más avanzados para el diseño y explotación de las infraestructuras marítimas, se han publicado diferentes recomendaciones que se han ido actualizando en el transcurso de los años.

En lo referente al diseño de obras de abrigo las Recomendaciones para Obras Marítimas ROM 1.0-09, *Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo*, publicada en 2009, establecen que, para verificar probabilísticamente las obras marítimas y portuarias es necesario seleccionar los agentes que actúan simultáneamente, y elegir sus valores teniendo en cuenta su compatibilidad. La mayoría de los agentes climáticos, atmosféricos y marinos son procesos aleatorios con las mismas causas forzadoras, por lo que su ocurrencia, evolución temporal e intensidad, en un punto del mar, están correlacionadas. En consecuencia, la selección de los agentes climáticos simultáneos y de sus valores de compatibilidad debe de realizarse a partir de modelos de probabilidad conjunta (ROM 1.0-09, pag. 350).

Así mismo estas recomendaciones recogen que para determinar si durante su vida útil un determinado tramo de obra ha fallado, o no, (con alguno de los modos de fallo adscritos a los estados límite últimos y de servicio) es necesario conocer la descripción estadística a largo término del que suele ser el agente climático principal para los diques de abrigo, el oleaje. En el largo plazo, la vida útil de una estructura es una secuencia de años meteorológicos. Estos son secuencias aleatorias de ciclos de solicitación (también denominados temporales, o tormentas) que, a su vez, son secuencias aleatorias de estados de mar, a partir de los cuales se estiman los parámetros necesarios para la descripción del oleaje (altura, dirección y periodo). Para analizar, en términos probabilistas, la respuesta de la estructura frente a los ciclos de solicitación a lo largo de su vida útil y verificar si cumple los criterios de seguridad, funcionalidad y operatividad recogidos en las recomendaciones, se plantea la aplicación de los métodos de Nivel I (semiprobabilista), Nivel II y Nivel III.

A pesar de la solidez de la teoría recogida en las nuevas Recomendaciones, su aplicación práctica en los proyectos es escasa e incompleta debido a la falta de procedimientos referidos en dicha recomendación tanto para efectuar la caracterización climática de la evolución de las tormentas fuera de la región con datos, como para su aplicación práctica en la verificación probabilista de la estructura.

El fin último de esta guía es solventar esta carencia, facilitando métodos y procedimientos para la caracterización completa de las tormentas y su aplicación práctica a los métodos probabilistas de análisis del riesgo en los términos recogidos en la ROM 1.0 -09 Obras de Abrigo (Parte I). Los resultados ofrecidos en esta guía son fruto de un trabajo de colaboración entre Puertos del Estado y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

CONTENIDO

En esta guía se recogen procedimientos tanto para efectuar una caracterización estadística completa de las tormentas, como para su aplicación probabilista en la ecuación de verificación de la respuesta de las estructuras de abrigo a los distintos modos de fallo. La información se completa con la aplicación de las metodologías descritas a series históricas de datos de oleaje y la descripción del uso práctico de dicha información en el marco de la ROM para el dimensionamiento de obras de abrigo.

La guía se compone de tres partes:

Parte 1.

Dedicada a la caracterización estadística de las tormentas. En esta parte de la guía se describe la metodología estadística propuesta para la caracterización multivariada de las tormentas. De forma más específica se abordan la determinación de la muestra representativa para los temporales de oleaje, la definición del modelo de tormenta y la caracterización estadística de las distribuciones conjuntas.

Además, en la guía se incluye el resultado de la aplicación de la metodología de caracterización de las tormentas a datos históricos de las costas españolas. El Anexo 2 de esta guía contiene, a modo de Atlas de oleaje, una serie de fichas que muestran el resultado de dicho análisis.

Parte 2.

En esta parte se hace una descripción de los requerimientos de la ROM y se propone la metodología a aplicar que permita elaborar toda la información necesaria para la verificación de los distintos modos de fallo de las estructuras marítimas con cualquiera de los métodos de verificación referidos en la ROM 0.0-01 y ROM 3.1-09 (métodos de Nivel I, II y III).

Puesto que la caracterización estadística recogida en el documento está referida a aguas profundas, no es representativa de una zona concreta de proyecto, donde los oleajes de altamar estarán modificados por la disposición del fondo y presentarán una forma espectral distinta.

Parte 3.

Esta parte de la guía incluye dos ejemplos de aplicación de la verificación del dimensionamiento, para los principales modos de fallo de las obras de abrigo en talud y verticales.

1 METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA DE LAS TORMENTAS.

1.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Las *estructuras marítimas* son construidas para el desarrollo de actividades económicas y/o recreativas. En consecuencia, la alternativa de proyecto debe ser:

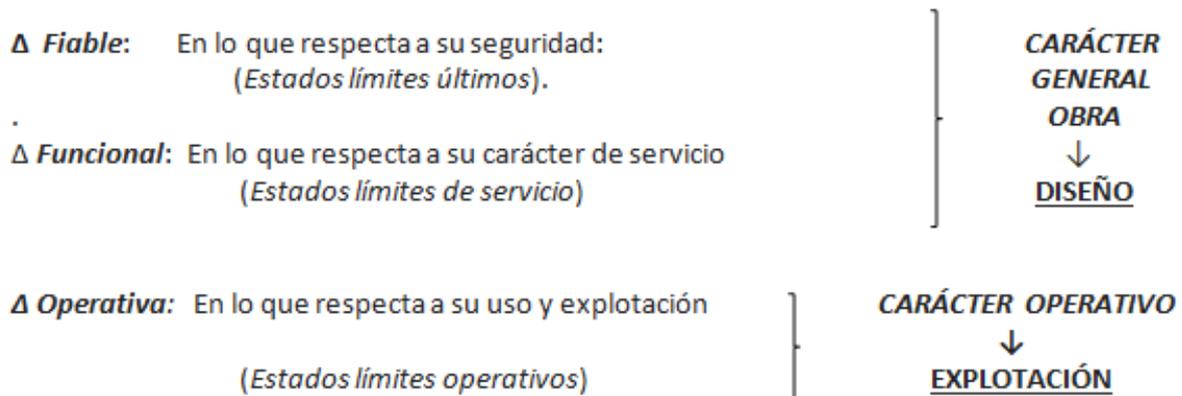


Figura 1.1. Características de las estructuras marítimas

Su diseño, como el de cualquier otra estructura, conlleva *incertidumbre*, o **riesgo**, que debe asumirse a priori. El cómo establecer racionalmente un nivel de riesgo aceptable para una determinada infraestructura marítima es precisamente lo que se desarrolla en las nuevas recomendaciones (ROM 0.0-01, ROM 1.0-09 y ROM 2.0-11).

En lo referente a las estructuras marítimas el **riesgo** se refiere a la **probabilidad** de ocurrencia de los **agentes** que definen los ciclos de solicitud (equivalentes, *en lo que respecta a este Atlas, a los temporales*) a los que una estructura dada puede quedar expuesta durante su vida útil y a las **consecuencias** derivadas de esa ocurrencia.

La determinación de la **Probabilidad** de ocurrencia conlleva el análisis estadístico de las variables y de los mecanismos (ecuaciones de diseño) que podrían desencadenar el fallo de la estructura (modos de fallo).

La valoración de las posibles **Consecuencias** en caso de pérdida de funcionalidad de la obra (Estados Límites de Servicio), o de su total colapso (Estados Límites Últimos), requiere efectuar un análisis cualitativo objetivo de las pérdidas.

Para limitar la **probabilidad anual máxima de ocurrencia del fallo** de la obra durante su **vida útil** la ROM 0.0-01 y 1.0-09 proponen dos índices. Uno, referido como *Índice de Repercusión Económica*, **IRE**, que considera los aspectos económicos relativos a su construcción, reparación y/o pérdidas económicas derivadas del fallo total o parcial de la estructura, y se utiliza para establecer la **Vida útil**, **V**, mínima de la obra. El otro, denominado *Índice de Repercusión Socio Ambiental*, **ISA**, hace una valoración cualitativa de la posibilidad de pérdidas humanas, daños medioambientales y sociales y fija la **Probabilidad máxima de fallo en la vida útil**, P_f admisible, diferenciando entre fallos que admiten ser reparados, asociados a los Estados Límites de Servicio (ELS) y los que conllevan el colapso de la obra, referidos como Estados Límites Últimos (ELU).

Establecer dichos índices requiere la realización de un estudio detallado de los aspectos implicados. Tales estudios deben realizarse por la propiedad, recogiendo en la ROM 0.0-01 las directrices para su estimación. En ausencia de estos estudios, a nivel de anteproyecto, la ROM 1.0-09 fija, en función del tipo de instalación protegida por la obra (puerto deportivo, comercial, defensa de costa, ...), los valores mínimos de Vida útil y máximos de probabilidad anual de fallo en la vida útil, indicándose también los índices IRE (Vida Útil) e ISA (Probabilidad de Fallo), asociados. Dichos valores se recogen en la referida ROM en las tablas 2.2.33, para la Vida Útil y en la 2.2.34, para la Probabilidad de Fallo asociada a modos de fallos límites últimos y de servicio. Para facilitar su consulta dichas tablas se incluyen en las tablas 2.1 y 2.2 de este documento.

En función de estos índices, IRE e ISA, esta ROM clasifica las obras en cuatro categorías y en función de cada categoría se fija el **método de verificación** requerido para evaluar si el diseño satisface los requisitos de seguridad, servicio, uso y explotación frente a los ciclos de solicitud en cada una de las fases de proyecto.

Los métodos de verificación son denominados Métodos de Nivel I (que incluye dos aproximaciones referidas como coeficientes de seguridad, parciales y globales), Nivel II y Nivel III. La clasificación del carácter general de la obra en función de los índices IRE e ISA y el método de verificación de la ecuación de diseño requerido en el marco de la ROM se recoge en la tabla 2.2.16 de la ROM 1.0-09 y en la tabla 2.3 de este documento.

En el diseño de las estructuras marítimas, la estimación de su máxima probabilidad de fallo suele realizarse considerando dominante la variable altura de ola significativa, asociada al contenido energético de cada estado de mar.

Asumiendo que el suceso que desencadena el fallo de la estructura es la superación de un determinado valor de dicha variable dominante, y que su probabilidad anual de ocurrencia (o probabilidad anual de fallo de la estructura) es constante, la determinación del **Periodo de retorno, R**, (número medio de años que transcurren entre dos presentaciones consecutivas del suceso que desencadena el fallo) para el que la obra debe ser diseñada viene dado por:

$$R = \frac{V}{P_{fx}}, \quad P_{fx} = ELU, ELS$$

Dados $F(x)$, función de distribución de probabilidad de la variable dominante, y λ número medio de temporales anuales, la probabilidad de fallo de la estructura vendría dada por:

$$P_{fx} = 1 - (F(x))^{\lambda V}$$

Los factores que, a grandes rasgos, conlleva el análisis del nivel de riesgo de una obra de abrigo se especifican en la figura 1.1.

Un esquema del procedimiento ROM1.0-09 para la verificación probabilista de las obras de abrigo se recoge en la figura 1.2

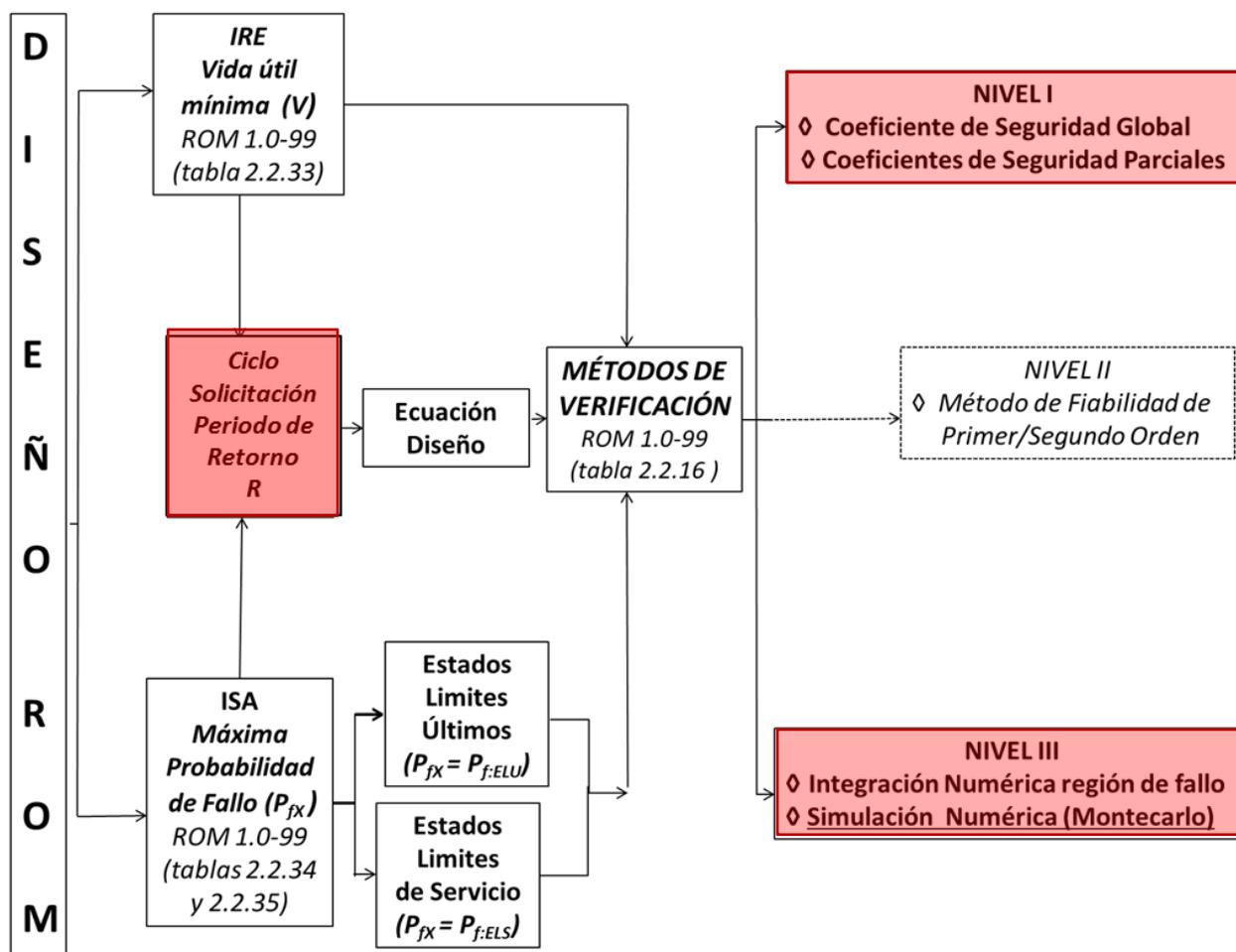


Figura 1. 2. Esquema del procedimiento ROM1.0-09 para la verificación probabilista de obras de abrigo

En el esquema para la verificación que se recoge en la figura 2.2.32 de la ROM 1.0-09 (ver figura 1.3) se establece que la verificación de los modos de fallo de obras de abrigo con carácter medio y alto se efectuará descomponiendo los ciclos en estados y éstos en olas individuales. Este planteamiento presenta serias dificultades, no en lo referente a la caracterización de los ciclos de solicitud, que sí es factible tal y como se recoge en este atlas, sino en la limitación de las formulaciones de diseño actualmente existentes, las cuales son de aplicación exclusiva a las características de la obra marítima y de los oleajes considerados en los ensayos en modelo físico que sirvieron para su establecimiento y por lo tanto carecen de carácter general.

De acuerdo con la ROM 1.0-09, a partir de los modelos de probabilidad de los agentes se generarán numéricamente secuencias anuales de temporales (o ciclos de solicitud, o tormentas), durante un número de años igual a la vida útil de la obra. Para cada uno de los estados de cada tormenta se resolverá la ecuación de verificación, se comprobará si se cumple o no el criterio de fallo y se calculará el valor del margen de seguridad o del coeficiente de seguridad.

Este resultado depende de la secuencia específica de estados en la tormenta, por lo que resulta imprescindible tener en cuenta su forma. La definición de la forma equivalente de tormenta, o ciclo de solicitud, depende de las características de la borrasca que la genera. Si la borrasca circula rápidamente por la zona la forma de la tormenta se aproxima a una forma triangular. Si

por el contrario transita y evoluciona lentamente su forma se adapta mejor a la forma trapezoidal e incluso rectangular.

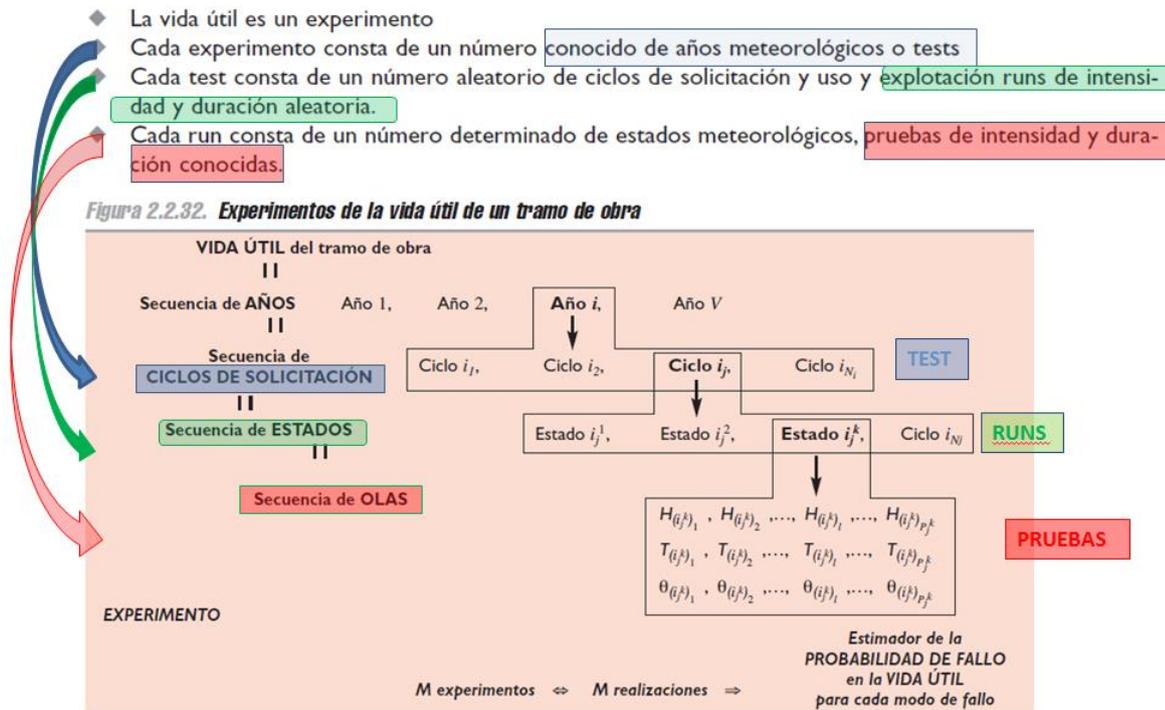


Figura 1.3. Verificación de los modos de Fallo. Fuente Figura 2.2.32.ROM.1.0-09 modificada

La evolución temporal de las curvas de estados del oleaje proporciona la forma de la tormenta, cuyos parámetros representativos para definir su forma equivalente, según la ROM1.0-09, son los siguientes valores (ver figura 1.4, figura 3.3.30 de la ROM):

- El valor umbral de altura de ola significativa que fija la condición de tormenta, $H_{s,u}$
- La duración de la excedencia, τ_u
- El valor máximo de altura de ola significativa de dicha excedencia, $H_{s,max}$
- La duración del valor máximo, τ_{max} .
- Un valor representativo de la intensidad de la borrasca, $H_{s,r}$, y la duración de su excedencia, τ_r , proponiendo considerar para éstos el 75% del valor del máximo. Además, se recomienda adoptar una forma triangular o una rectangular cuando se cumplen aproximadamente las relaciones que se recogen en la tabla de la figura 1.4 (tabla.3.3.24 de la ROM).

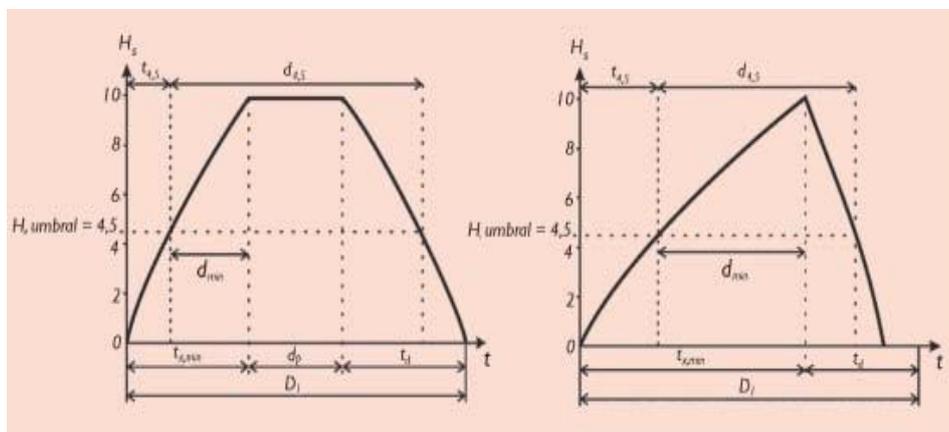
Finalmente la ROM recomienda que cuando la evolución de la borrasca no se reproduzca adecuadamente con alguna de las dos formas anteriores se tanteen formas trapezoidales o dos rectangulares, una para $(H_{m0,u} \leq H_{m0}(t) < H_{m0,r})$ y otra para el tramo $(H_{m0,r} \leq H_{m0}(t) < H_{m0,max})$ adoptando para la base de cada una de ellas el criterio de conservación del área.

Como forma más objetiva de clasificar la Magnitud de la tormenta se considera el parámetro, M , que cuantifica el contenido energético total del ciclo de sollicitación mediante las siguientes expresiones

$$\text{Triangular: } M = \frac{(H_{m0,max} - H_{m0,u}) \cdot \tau_u}{2}$$

$$\text{Rectangular: } M = (H_{m0,max} - H_{m0,u}) \cdot \tau_u$$

$$\text{Trapezoidal: } M = \frac{(H_{m0,max} - H_{m0,u}) \cdot (\tau_u + \tau_{max})}{2}$$



	Triangular	Rectangular
$\tau_{m\acute{a}x}$ (horas)	≤ 3	> 3
$H_{s,r} / H_{s,m}$	$\approx \tau_u / \tau_r$	0,75 - 1,0
$H_{s,r} / H_{s,m\acute{a}x}$	$< 0,75$	$\geq 0,750$
τ_{eq}	-	área $\approx \tau_{eq} \cdot H_{s,m\acute{a}x}$

Figura 1.4 Esquema de las formas teóricas de la tormenta. Fuente ROM 1.0 -09

La metodología propuesta en esta guía para establecer los ciclos de sollicitación representativos del agente climático OLEAJE, se desarrolla a continuación

1.2 ELECCIÓN DE LA MUESTRA REPRESENTATIVA. MODELO DE CICLO DE SOLICITACIÓN

Dado que el espacio muestral, una vez condicionado a la dirección media de procedencia, es tridimensional, no puede establecerse una relación de orden, necesaria para definir el modelo de probabilidad. En estos casos, el criterio más extendido para definir el modelo de probabilidad consiste en considerar dominante una de las variables, seleccionando los valores concomitantes para el resto de variables. Dado que en el campo de la ingeniería marítima suele considerarse variable dominante la altura de ola significativa, la muestra considerada en la metodología propuesta se obtiene a partir de los máximos locales de altura de ola significativa sobre un determinado umbral H_{TOR} junto con los periodos medios (T_{m02}) y magnitudes (M) concomitantes.

Dicho umbral debe ser elegido en función de las características climáticas de la zona de proyecto, la localización del punto de información y con la consideración de disponer de un número de picos representativo respetando un tiempo mínimo de separación entre ellos (T_c), para asegurar así la independencia o, al menos, una débil dependencia. Dicho intervalo temporal es preestablecido con base a la correlación entre alturas de olas sucesivas en el punto de información.

De esta forma, según se muestra en la figura 1.5, la muestra de partida, de temporales de oleaje, está constituida por las ternas formadas por las alturas de ola significativa de los picos sobre el umbral (independientes, ó débilmente dependientes), y los valores concomitantes de T_{m02} y M

(Magnitud) que define el área bajo la curva de la evolución de H_{m0} por encima del umbral de referencia, De Michele et al. (2007).

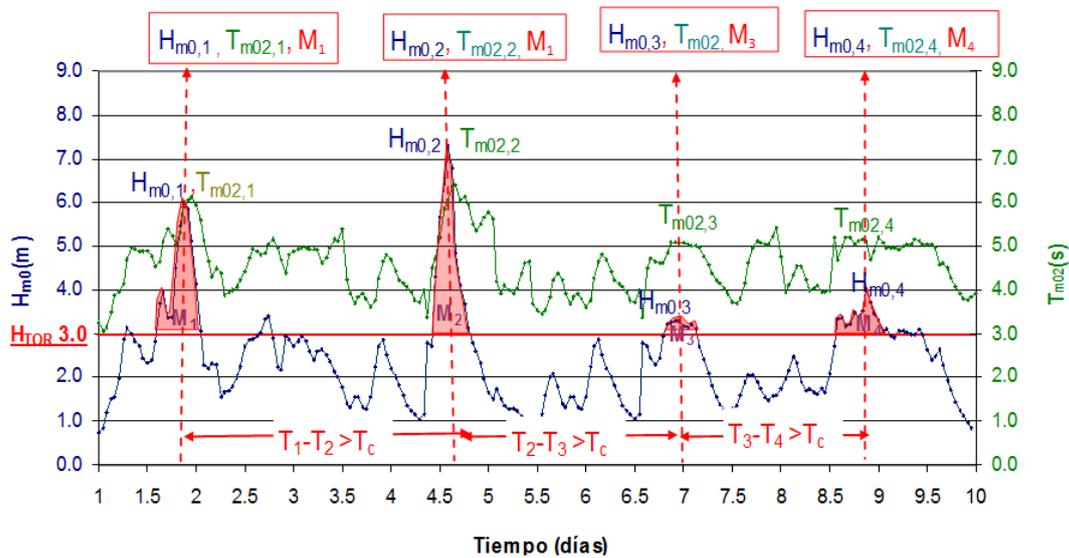


Figura 1.5 Elección de la muestra representativa.

Para garantizar la independencia, o al menos una débil dependencia, de los picos de tormenta el tiempo de separación entre picos considerado en todos los puntos analizados es de 5 días (120h).

1.3 MODELO TEÓRICO DE TORMENTA. CARACTERIZACIÓN DEL CICLO DE SOLICITACIÓN.

Para las fachadas marítimas consideradas en esta guía, se ha asumido que la evolución de la altura de ola significativa en cada ciclo de solicitud (temporal, o tormenta) responde a un patrón trapezoidal.

La altura de esta forma geométrica se obtiene en términos de la *altura significativa equivalente*, H_{m0_equiv} , definida como la diferencia entre la altura de ola significativa en el pico del temporal, H_{m0_p} y la que define el umbral que fija la condición de tormenta, referida en este documento como, H_{m0_tor} . La base de la duración de la tormenta teórica, se establece de forma que su *magnitud* sea igual a la de la tormenta real.

Para facilitar la extrapolación de las muestras fuera de la región con datos, los ciclos de solicitud se normalizan, dividiendo todas las alturas de ola significantes de la tormenta por la altura de ola significativa del pico del ciclo de solicitud y los instantes asociados a dichas alturas por la duración total de la tormenta. Como resultado, se obtiene un patrón de tormenta trapezoidal caracterizado por una altura y duración unitarias y por las coordenadas de los dos picos que lo definen (ver figura 1.6).

En base a los n temporales que conforman la muestra de partida puede estimarse el promedio de las posiciones de ambos picos:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n} \cdot \sum_i^n x_{1,i} \quad \bar{y}_1 = \frac{1}{n} \cdot \sum_i^n y_{1,i}$$

De este modo el área del trapezoide normalizado se calcula como suma de un trapecio rectangular y dos triángulos rectángulos (ver figura 1.6b):

$$\delta = \frac{1}{2} (\bar{x}_1 \bar{y}_1 + (\bar{y}_1 + \bar{y}_2)(\bar{x}_2 - \bar{x}_1) + \bar{y}_2(1 - \bar{x}_2))$$

El área, o magnitud, de la tormenta real, M , será

$$M_{Real} = \frac{1}{2} D_{Real} \cdot H_{m0,eq} (\bar{x}_1 \bar{y}_1 + (\bar{y}_1 + \bar{y}_2)(\bar{x}_2 - \bar{x}_1) + \bar{y}_2(1 - \bar{x}_2))$$

Conocida la magnitud real del ciclo de solicitación, la duración de la tormenta real se calcula como

$$D_{Real} = \frac{2 \cdot M_{Real}}{(H_{m0,p} - H_{m0,tor}) \cdot \delta}$$

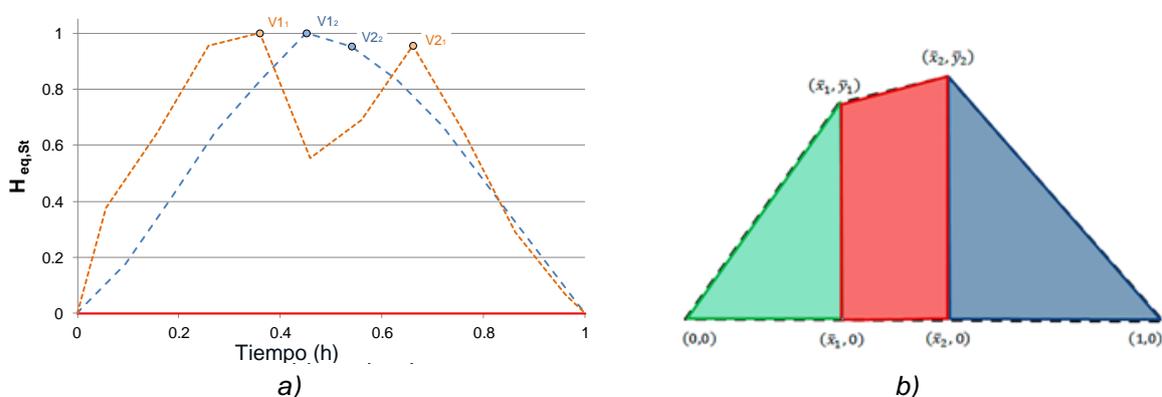


Figura 1.6. Temporales transformados.

a) Vértices transformados b) Patrón trapezoidal

1.4 CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA DE LA DISTRIBUCIÓN CONJUNTA.

Cada temporal, o ciclo de solicitación, está determinado por las variables aleatorias altura de ola significativa del pico de la tormenta, y periodo medio y magnitud de la tormenta, para las cuales han de considerarse sus respectivos modelos de probabilidad.

Para la caracterización estadística conjunta de las variables H_{m0} - T_{m02} y H_{m0} - M representativas se utilizan funciones cópulas, cuyos argumentos son definidos en términos de las funciones de distribución marginales de cada una de las variables.

a) Funciones de distribución marginales

Para las tres variables marginales representativas del ciclo de solicitación (H_{m0} , T_{m02} y M) se utiliza la función de distribución triparamétrica de Weibull, de expresión:

$$F(x) = 1 - \exp(-((x - A)/B)^C), \quad x = H_{m0}, T_{m02} \text{ ó } M$$

con A , B y C los parámetros de localización, escala y forma de la distribución.

En el caso de la magnitud, M , la distribución lognormal también proporciona buenos ajustes.

Para estimar la variabilidad estadística de los picos de las tormentas (no requerida en los métodos de verificación de Nivel III, pero sí en los Niveles I y II), se asume una distribución normal.

Se ha obtenido una relación de tipo logarítmico entre las desviaciones típicas asociadas a las distintas alturas de ola de retorno, $\sigma_{H_{m0,R}}$ (obtenidas por simulación numérica de Montecarlo a partir de su distribución teórica) y el periodo de retorno:

$$\sigma_{H_{m0,R}} = A_{\sigma H_{m0}} + B_{\sigma H_{m0}} \cdot \ln(R)$$

b) Funciones de distribución conjuntas

En la caracterización conjunta de la altura del pico del temporal, $H_{m0,p}$, con su periodo medio concomitante, T_{m02} , se utiliza la cópula bivariada de Gumbel de expresión:

$$C(u, v, \alpha) = \exp\{(-\ln u)^\alpha + (-\ln v)^\alpha\}^{1/\alpha}$$

Con: $u = F(x)$, $v = F(y)$; $x = H_{m0p}$, $y = T_{m02}$ y α parámetro de dependencia.

Para la correspondiente a dicha altura de ola con la magnitud del temporal se consideran, en función de la zona climática, la cópula de Gumbel anteriormente referida, o la de Clayton, dada por:

$$C(u, v, \alpha) = \max\{[u^{-\alpha} + v^{-\alpha} - 1]^{-1/\alpha}, 0\}$$

con $u = F(H_{m0p})$, $v = F(M)$ y α parámetro de dependencia

Con base a estas distribuciones se determinan los valores más probables de T_{m02} y de M asociados a cada valor de H_{m0}

c) Relación de la altura de ola de retorno con el periodo medio más probable y la magnitud más probable.

Para la aplicación de los distintos métodos de verificación se consideran la altura de ola significativa asociada al periodo de retorno establecido para el dimensionamiento de la obra y los valores más probables del periodo medio ($\hat{T}_{m02,R}$) y de la magnitud (\hat{M}_R), asociados a dicha altura de ola (estimados a partir de sus correspondientes funciones cópula).

Como resultado de comparar, para distintos periodos de retorno, cada altura de ola de retorno con su correspondiente periodo medio o magnitud más probable (ver figura 1.7), se han obtenido las siguientes relaciones logarítmicas, muy útiles para realizar estimaciones con cualquier valor de periodo de retorno:

$$\hat{X}_R = a_{\hat{x}} + b_{\hat{x}} \ln(H_{m0,R}), \quad \hat{x} = \hat{T}_{m02,R}, \hat{M}_R$$

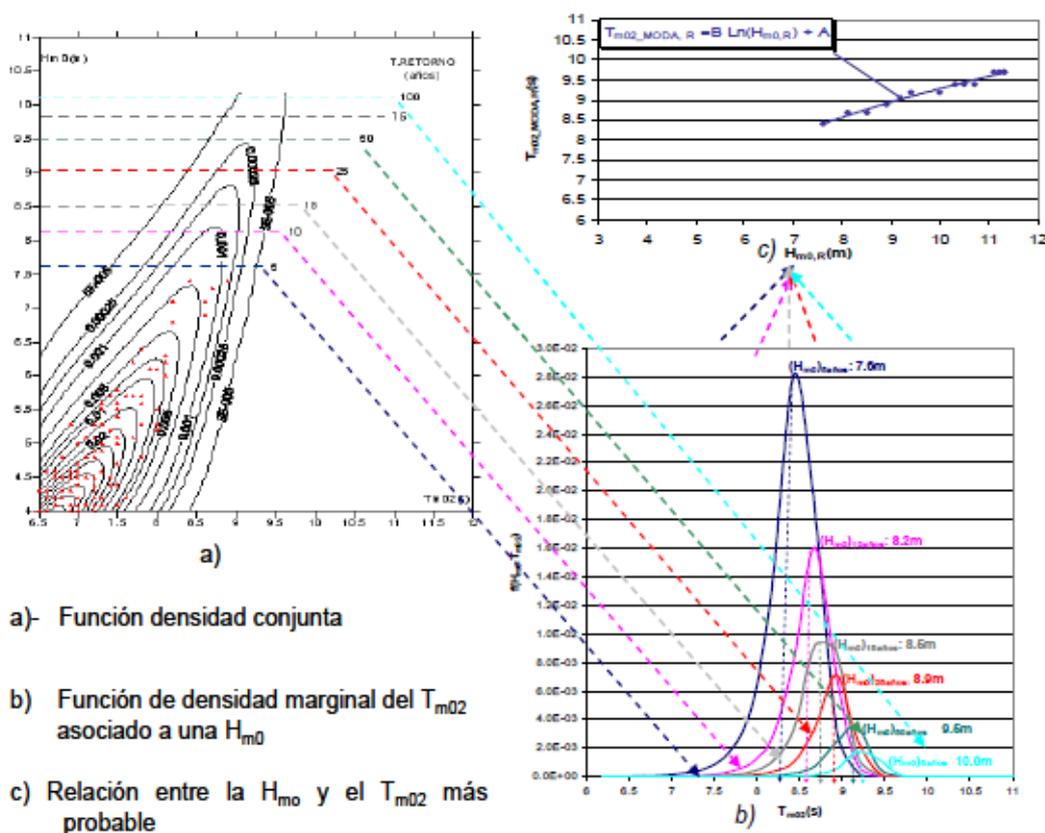


Figura 1.7. Esquema del cálculo del T_{m02} más probable asociado a H_{m0R}

Para calcular la duración total de la tormenta, \hat{D}_R se utiliza la expresión correspondiente al patrón de tormenta considerando la magnitud más probable asociada a la altura de ola estimada

$$D_{Real} = \frac{2 \cdot M_{Real}}{(H_{m0,Real} - H_{m0,tor}) \cdot \delta} \quad \text{con } \delta = (\bar{x}_1 \bar{y}_1 + (\bar{y}_1 + \bar{y}_2)(\bar{x}_2 - \bar{x}_1) + \bar{y}_2(1 - \bar{x}_2))$$

Conocida esta duración y tomando las abscisas, \bar{x}_1, \bar{x}_2 , del primer y segundo pico del patrón trapezoidal estandarizado de tormenta se obtiene la duración de las mayores alturas de ola.

$$\hat{D}_{R_{\bar{x}_1, \bar{x}_2}} = \hat{D}_R \cdot (\bar{x}_2 - \bar{x}_1)$$

Si se dispone de fórmula de fallo progresiva, el número de olas, \hat{N}_{zR} , se calcula como

$$\hat{N}_{zR} = \frac{\hat{D}_R \cdot 3600}{\hat{T}_{m02R}}$$

o, si dicha ecuación no contempla la progresión del daño en el transcurso de la tormenta, como

$$\hat{N}_{zR} = \frac{\hat{D}_{R_-(X_1, X_2)} \cdot 3600}{\hat{T}_{m02R}}$$

d) Espectro de los estados de mar. Olas individuales

La generación de las olas individuales de cada uno de los estados de mar que conforman el ciclo de sollicitación se ha realizado asumiendo el espectro direccional teórico definido por la composición del espectro frecuencial JONSWAP con la función de dispersión direccional de Mitsuyasu-Goda-Suzuky (MGS).

$$S_{MGS}(f, \theta) = S_J(f) \cdot G(f, \theta)$$

Siendo $S_J(f)$ el espectro de frecuencia JONSWAP dado por:

$$S_J(f) = \alpha \cdot g^2 \frac{f}{(2\pi)^4} \left\{ -\frac{5}{4} \left[\frac{f}{f_p} \right]^{-4} \right\} \gamma_J^\alpha$$

Con $\alpha = \exp \left[\left(\frac{f}{f_p} - 1 \right)^2 / 2\sigma_f^2 \right]$, $\sigma_f = \begin{cases} \bar{\sigma}_a = 0.07 ; si f \leq f_p \\ \bar{\sigma}_a = 0.09 ; si f > f_p \end{cases}$

y $G(f, \theta)$ la función de dispersión angular de expresión

$$G(f, \theta) = G_0 \cos^{2s} \left(\frac{\theta}{2} \right)$$

Con $G_0 = \frac{1}{\pi} \cdot 2^{2s-1} \frac{\Gamma^2(s+1)}{\Gamma(2s+1)}$

y

$$S = \begin{cases} S_{MAX} \cdot \left(\frac{f}{f_p} \right)^5 & : f < f_p \\ S_{MAX} \cdot \left(\frac{f}{f_p} \right)^{-2.5} & : f \geq f_p \end{cases}$$

El parámetro de apuntamiento, γ_J , del espectro JONSWAP es aproximado con la expresión (ROM.1.0-09, página 258):

$$\gamma_J \approx 5.870 \cdot \left(\frac{2\pi}{T_p} \right)^{0.86}$$

o tomando los valores estadísticos obtenidos de la muestra (media, máximo, mínimo, o media $\pm x$ desviaciones típicas, con x =número de desviaciones típicas).

Dada la variabilidad asociada a los periodos de pico, condicionada al proceso de suavizado que se realiza a la serie original, el periodo de pico es estimado asumiendo la relación

$$T_p \cong 1.4 \cdot \hat{T}_{m02}$$

con \hat{T}_{m02} el periodo medio más probable asociado a la altura de ola.

Para la estimación del parámetro de dispersión angular S_{MAX} se utiliza la relación exponencial (ver figura 1.8), obtenida a partir del ábaco elaborado por Goda para aguas profundas (Goda, 1985, pp.:31):

$$S_{MAX} \approx 188.7e^{-86.8\left(\frac{H_{mo}}{L_{Tp}}\right)}$$

Siendo L_{Tp} , la longitud de onda asociada al periodo de pico de cada pico de tormenta.

Calculando los correspondientes peraltes de ola y empleando la relación anterior se obtienen los valores del parámetro de dispersión direccional S_{max} asociado al pico de la tormenta.

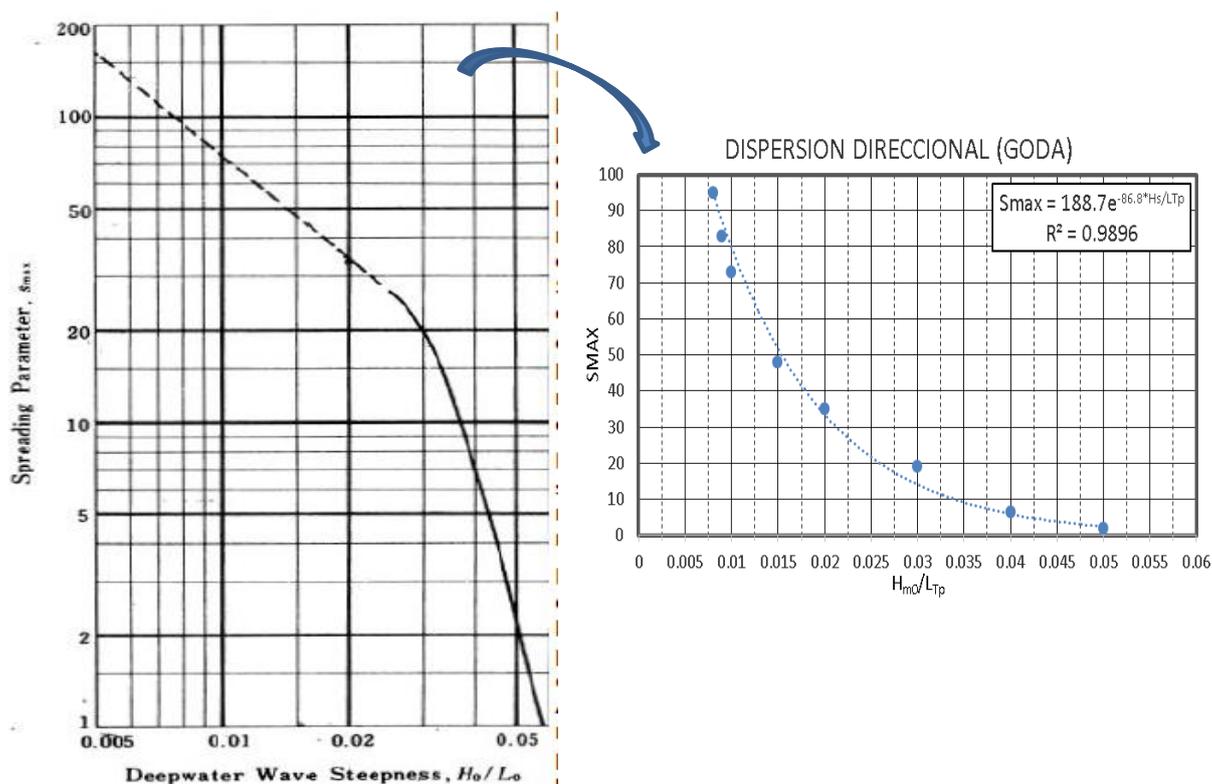


Figura 1.8 Estimación de la dispersión direccional en aguas profundas

1.5 CARACTERIZACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LAS TORMENTAS EN LA COSTA ESPAÑOLA

Se ha aplicado la metodología descrita para caracterizar las tormentas a series históricas disponibles en aguas profundas, tanto en las fachadas norte y mediterránea de la costa peninsular española como en el archipiélago balear. En esta guía se presentan los resultados obtenidos en 12 ubicaciones que se han seleccionado conforme a la calidad de los datos disponibles y su idoneidad para ser utilizados en análisis de largo término.

1.5.1 Características de la información utilizada

Para su elaboración se han utilizado las series sintéticas de datos de oleaje SIMAR de Puertos del Estado. El conjunto SIMAR está constituido por series temporales de datos de oleaje y viento

obtenidas por modelado numérico que se inician en el año 1958 y llegan hasta la actualidad. Dentro del conjunto SIMAR hay que distinguir dos partes, un primer subconjunto procedente de un hindcast que contiene series de datos entre los años 1958 y 2005 y un segundo subconjunto que procede de la información generada por el sistema de predicción de oleaje de Puertos del Estado-Aemet (Gomez La Hoz et al., 2005), referido en esta Guía como serie WANA, que completan la cobertura temporal desde el año 2006.

Para la realización del *hindcast* de oleaje, que da cobertura entre los años 1958 y 2005, se utilizó el modelo numérico WaveWatch III empleando un esquema de anidamiento de mallas similar al de la predicción operativa del oleaje de Puertos del Estado. Para estas simulaciones se utilizaron datos de viento procedentes de un *downscaling* dinámico con el modelo atmosférico regional RCA3.5 proporcionado por Aemet (Agencia Española de Meteorología), basado, a su vez en dos retroanálisis atmosféricos globales: ERA-Interim, (años 1989-2005) y ERA-40 (años 1958-2001).

Teniendo en cuenta la calidad de las series históricas disponibles en cada fachada marítima se ha utilizado la siguiente información:

- *Zona Cantábrica y Gallega*: Serie SIMAR completa calibrada (desde 1958 a 2015) con los datos registrados por la Red de Boyas de Aguas Profundas de Puertos del Estado (Álvarez-Fanjul, E. et al., 2003).
- *Zona Mediterránea y Balear*: Se ha utilizado la parte de la serie SIMAR procedente del sistema de predicción operativa (serie WANA). En esta zona se detectó que el oleaje del subconjunto de datos generados mediante *hindcast* (datos anteriores al año 2005) presenta una cierta infravaloración respecto a las medidas y, dado que no fue posible efectuar su calibración, por la longitud temporal de las medidas en esta fachada marítima, se optó por utilizar únicamente los datos del segundo subconjunto (WANA). En general, este conjunto de datos, tiene datos desde el año 2006, si bien, en algunos puntos se dispone de esta información desde el 2001, por lo que se ha utilizado desde este año cuando ha sido posible para contar con una mayor cobertura temporal.

El tratamiento estadístico de las variables analizadas no incluye los efectos del cambio climático a medio (2040-2060) y largo plazo (2080-2100). Esta limitación no se considera actualmente importante, dada la variabilidad e incertidumbre que en lo relativo al oleaje presentan las distintas proyecciones climáticas a largo término. Por estos motivos y por la escasa influencia que en lo relativo al oleaje se observa en las distintas proyecciones climáticas, las extrapolaciones resultantes de la aplicación de esta metodología pueden considerarse representativas.

Puesto que la caracterización estadística recogida en el documento está referida a aguas profundas, no es representativa de una zona concreta de proyecto, donde los oleajes de altamar estarán modificados por la disposición del fondo y presentarán una dirección de incidencia, altura, y forma espectral distinta.

1.5.2 Análisis de la representatividad de las estimaciones

Con el fin de analizar la representatividad de las estimaciones realizadas se compararon la evolución de las alturas de ola y periodos de los datos en las distintas direcciones con los correspondientes a la evolución de los valores de retorno H_{m0} , T_{m02} y M más probable considerando varios valores de retorno. Las gráficas resultantes están incluidas en el Anexo 1 de esa guía.

1.5.3 Caracterización de la evolución de las tormentas

Los resultados obtenidos de la caracterización de la evolución de las tormentas se muestran gráficamente, a modo de Atlas de oleaje, en una serie de fichas que conforman el Anexo 2 de esta guía. Dichas fichas contienen la información requerida para el dimensionamiento de las obras marítimas y la verificación de la ecuación representativa de los modos de fallo en los que el oleaje es la acción preponderante. Para describir mejor el uso práctico de la información obtenida aplicando esta metodología en la zona de proyecto, las tablas incluidas en las fichas se han numerado de ① a ⑨ y por dicho número se referencian en el apartado 2.2 del siguiente capítulo, destinado a la descripción de los procedimientos propuestos para la verificación del diseño de obras marítimas.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS PROPUESTOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE OBRAS MARÍTIMAS.

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Como se indicó, para limitar la **probabilidad máxima de ocurrencia del fallo** de la obra durante su **vida útil** los procedimientos incluidos en la ROM 0.0-01 y en la ROM 1.0-09 utilizan dos índices. Uno, referido como *Índice de Repercusión Económica*, **IRE**, que considera los aspectos económicos relativos a su construcción, reparación y/o pérdidas económicas derivadas del fallo total o parcial de la estructura y se utiliza para establecer la **Vida útil, V**, mínima de la obra. El otro, denominado *Índice de Repercusión Socio Ambiental*, **ISA**, establece el valor admisible de máxima **Probabilidad de fallo anual durante la vida útil**, mediante la valoración cualitativa de la posibilidad de pérdida humanas, daños medioambientales y sociales en caso de fallo, diferenciando entre fallos que admiten ser reparados, asociados a los Estados Límites de Servicio y los que conllevan el colapso de la obra, referidos como Estados Límites Últimos.

Establecer dichos índices requiere la realización de un estudio detallado de los aspectos implicados. Tales estudios deben realizarse por la propiedad, recogiendo en la ROM 0.0-01 las directrices para su estimación. En ausencia de estos estudios, a nivel de anteproyecto, la ROM 1.0-09 fija, en función del tipo de instalación protegida por la obra (puerto deportivo, comercial, defensa de costa, ...), los valores mínimos de Vida útil y máximos de probabilidad de fallo en la vida útil, indicándose también los índices IRE (Vida Útil) e ISA (Probabilidad de Fallo), asociados. Dichos valores se recogen en la referida ROM en las figuras 2.2.33, para la Vida Útil y en la 2.2.34, para la Probabilidad de Fallo asociada a modos de fallos límites últimos y de servicio. Para facilitar su consulta dichas tablas se incluyen en las tablas 2.1 y 2.2 de este documento.

Tabla 2.1. IRE y vida útil mínima de la obra (Figura 2.2.33 ROM 1.0-09)

	TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA	INDICE IRE ⁷		VIDA ÚTIL MÍNIMA (V _m) ⁷ (años)	
P O R T U A R I A S	PUERTO COMERCIAL	Puertos abiertos a todo tipo de tráficos	r ₃	Alto > 20	50
		Puertos para tráficos especializados	r ₂ (r ₃) ¹	Medio 6-20 (alto >20) ¹	25 (50) ¹
	PUERTO PESQUERO		r ₂	Medio 6-20	25
	PUERTO NÁUTICO-DEPORTIVO		r ₂	Medio 6-20	25
	INDUSTRIAL		r ₂ (r ₃) ¹	Medio 6-20 (alto >20) ¹	25 (50) ¹
	MILITAR		r ₂ (r ₃) ²	Medio 6-20 (alto >20) ²	25 (50) ²
	PROTECCIÓN DE RELLENOS O DE MÁRGENES		r ₂ (r ₃) ³	Medio 6-20 (alto >20) ³	25 (50) ³
L I T O R R E A L S E S	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES		r ₃	Alto >20	50
	PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		r ₂ (r ₃) ⁵	Alto > 20 (medio 6-20) ⁵	25 (50) ⁵
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES		r ₁ (r ₃) ⁶	Bajo ≤5 (alto >20) ⁵	15 (50) ⁷
	REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS		r ₁	Bajo ≤5	15
<p>1 El índice IRE se elevará a r₃ cuando el tráfico esté asociado con el suministro energético o con materia primas minerales estratégicos y no se disponga de instalaciones alternativas adecuadas para su manipulación u/o almacenamiento.</p> <p>2 El índice IRE se elevará a r₃ cuando la instalación militar se considere esencial para la defensa nacional</p> <p>3 En obras de protección de rellenos o de defensa de márgenes se tomará un índice IRE igual al señalado para el área portuaria en que se localiza</p> <p>4 Se entienden como diques de defensa ante grandes inundaciones, aquellos que en caso de fallo podrían producir importantes inundaciones en el territorio</p> <p>5 El índice IRE se elevará a r₃ cuando la toma de agua o el punto de vertido esté asociado con el abastecimiento de agua para uso urbano o con la producción energético</p> <p>6 El índice IRE se elevará a r₂ cuando en su zona de afección se localicen edificaciones o instalaciones industriales</p> <p>7 Los índices inferiores a r₃ de la tabla se elevarán un grado por cada 30 M€ de coste de inversión inicial de la obra de abrigo</p>					

1

Tabla 2.2. ISA y Probabilidad máxima anual de los modos de fallo) (Figura 2.2.34 ROM 1.0-09)

ÁREAS PORTUARIAS	TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA		INDICE ISA		P _{f,ELU}	P _{f,ELS}	
	2	COMERCIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique ¹	Mercancías Peligrosas ²	s ₃	Alto 20-29	0,01
			Pasajeros y Mercancías no peligrosas ¹	s ₂	Bajo 5-19	0,1	0,1
Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique.			s ₁	No signif. < 5	0,2	0,2	
PESQUERO		Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₂	Bajo 5-19	0,1	0,1
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₁	No signif. < 5	0,2	0,2
NÁUTICO-DEPORT.		Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₂	Bajo 5-19	0,1	0,1
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₁	No signif. < 5	0,2	0,2
INDUSTRIAL		Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique ¹	Mercancías Peligrosas ²	s ₃	Alto 20-29	0,01	0,07
			Mercancías no peligrosas	s ₂	Bajo 5-19	0,1	0,1
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique.		s ₁	No signif. < 5	0,2	0,2
MILITAR		Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₃	Alto 20-29	0,01	0,07
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₁	No signif. < 5	0,2	0,2
PROTECCIÓN *	Con zonas de almacenamiento adosadas al dique ¹	Mercancías Peligrosas ²	s ₃	Alto 20-29	0,01	0,07	
		Mercancías no peligrosas	s ₂	Bajo 5-19	0,1	0,1	
LÍTIAS	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES ³		s ₄	Muy Alto ≥ 30	0,0001	0,07	
	PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		s ₂ (s ₃) ⁴	Bajo 5-19 (alto 20-29) ⁴	0,10 0,0001	0,10 0,07	
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES		s ₂ (s ₄) ⁵	Bajo 5-19 (muy alto ≥30) ⁵	0,10 0,0001	0,10 0,07	
	REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS		s ₁	No signif. < 5	0,2	0,2	

* PROTECCIÓN DE RELLENOS O MÁRGENES.
 1 En el caso de que en la superficie adosada al dique esté previsto que se ubiquen edificaciones (p.e. estaciones marítimas, lonjas,...), depósitos o silos que pudieran resultar afectados en el caso de fallo de la obra de abrigo, se considerará un índice ISA muy alto (s₄) (P_{f,ELU}=0,0001; P_{f,ELS}=0,007).
 2 Se consideran mercancías peligrosas los grupos de sustancia prioritarias incluidas en el anexo X de la Directiva Marco del Agua (Decisión 2455/2001/CE), en el inventario europeo de emisiones contaminantes (EPER:decisión 2004/479/CE), y en el Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de Mercancías Peligrosas (Real Decreto 145/1989).(Ver ROM 5,1-05).
 3 Se entiende como diques de defensa ante grandes inundaciones, aquellos que en caso de fallo podrían producir importantes inundaciones en el territorio.
 4 El índice ISA se elevará a s₃ cuando la toma de agua o el punto de vertido estén asociados con el abastecimiento de agua para uso urbano o industrial o con la producción energética.
 5 El índice ISA se elevará a s₄ cuando en caso de fallo pudieran resultar afectadas edificaciones y otras instalaciones industriales.

A partir de los valores V y P_f, se estima el periodo mínimo de retorno, R, para el que debe ser diseñada la estructura como:

$$R = \frac{V}{P_{-(f,x)}} = \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{2}}; x = ELU, ELS$$

En función de estos índices, IRE e ISA, la ROM clasifica las obras en cuatro categorías y en función de cada categoría se fija el **método de verificación** requerido para evaluar si el diseño satisface los requisitos de seguridad, servicio, uso y explotación frente a los ciclos de solicitación en cada una de las fases de proyecto.

Los métodos de verificación son denominados Métodos de Nivel I (que incluye dos aproximaciones considerando coeficientes de seguridad parciales o globales), Nivel II y Nivel III. La clasificación del carácter general de la obra en función de los índices IRE e ISA y el método

de verificación de la ecuación de diseño requerido en el marco de la ROM se recoge en la tabla 2.2.16 de la ROM 1.0-09 y en la tabla 2.3 de este documento.

Tabla 2.3. Método de verificación de la ecuación de diseño. Tabla 2.2.16 (ROM 1.0-09)

ISA \ IRE	No significativo < 5	Bajo $5 \leq 19$	Alto 20-29	Muy Alto 30
Bajo ≤ 5	[1]	[2]	[2] y [3] o [4]	[2] y [3] o [4]
Medio 6-19	[2]	[2]	[2] y [3] o [4]	[2] y [3] o [4]
Alto ≥ 20	[2] y [3] o [4]	[2] y [3] o [4]	[2] y [3] o [4]	[2] y [3] o [4]

[1]. Nivel I: Coeficiente global de Seguridad [2] Nivel I: Coeficientes Parciales de Seguridad [3] Nivel II [4] Método Nivel III

En el esquema para la verificación que se recoge en la ROM 1.0-09 se establece que la verificación de los modos de fallo de obras de abrigo con carácter general medio y alto se efectuará descomponiendo los ciclos en estados y éstos en olas individuales. Este planteamiento presenta serias dificultades, no en lo referente a la caracterización de los ciclos de sollicitación, que sí es factible tal y como se recoge en este atlas, sino en la limitación de las formulaciones de diseño actualmente existentes, las cuales son de aplicación exclusiva a las características de la obra marítima y de los oleajes considerados en los ensayos en modelo físico que sirvieron para su establecimiento y por lo tanto no tiene total representatividad.

Para la verificación se considera, de forma realista, que en el transcurso de la vida útil de la obra, V , se producen, λ número medio de temporales anuales, y que cada ciclo de sollicitación está compuesto por la sucesión de distintos estados de mar, cada uno de los cuales se caracteriza por la altura de ola significativa, H_{m0} , el periodo medio, T_{m02} , y la dirección media de procedencia, θ . A su vez cada uno de los estados está compuesto por N_z **olas individuales**, con altura H_i , periodo T_i y dirección de procedencia θ_i (ver figura 1.3).

Un esquema de la descomposición de cada ciclo en estados y de estos en olas individuales se recoge en la figura 2.1 de este documento que es una modificación de la figura 2.2.32 de la ROM1.0-09.

La metodología propuesta en este informe para establecer el ciclo de sollicitación representativo del agente climático OLEAJE, que para la mayoría de los modos de fallo de las estructuras marítimas actúa como agente preponderante, se desarrolla a continuación.

Dicha metodología considera tanto las exigencias de la ROM1.0-09 anteriormente referidas, en lo relativo a la caracterización del ciclo de sollicitación, como las limitaciones que las fórmulas de diseño actuales representativas de los distintos modos de fallo de las estructuras marítimas presentan en la aplicación, de forma completa, de los métodos de verificación recogidos en la ROM 0.0-01.

2.2 APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA INFORMACIÓN RECOGIDA EN EL ATLAS DE OLEAJE EN EL MARCO DE LA ROM DE DIMENSIONAMIENTO DE OBRAS DE ABRIGO (CARACTERIZACIÓN DEL CICLO DE SOLICITACIÓN)

La aplicación práctica de la información elaborada suministrada en el atlas (Anexo 2 de esta guía) para verificar la seguridad de la obra frente a un modo de fallo dado depende del método de verificación, tal y como se describe a continuación. Para describir mejor el uso práctico de la

información obtenida, en este apartado se incluye, cuando corresponde, una referencia al número asociado a las fichas del Anexo 2, de ❶ a ❹.

a) NIVEL I

En el NIVEL I la ecuación de verificación se expresa en términos de un coeficiente de seguridad que admite dos modalidades referidas como *coeficiente de seguridad global* y *coeficientes de seguridad parciales*. A su vez, cada una de las modalidades admiten dos aproximaciones. Una considera todos los términos deterministas (coeficientes de seguridad, globales o parciales, *centrados*) y la otra asume el carácter aleatorio en alguno de los términos (coeficientes de seguridad, globales o parciales, *característicos*). Los coeficientes de seguridad centrados precisan menos información que los coeficientes de seguridad característicos.

Para obtener los valores requeridos para la aplicación de los **coeficientes de seguridad centrados** se procede de la siguiente forma:

- 1 Determinar la altura de ola de cálculo, H_{m0R} , asociada al periodo de retorno establecido, para el tramo de obra en consideración.

$$H_{m0R} = A_{H_{m0}} + B_{H_{m0}} \cdot \left[-\ln \left(\frac{1}{\lambda R} \right) \right]^{\frac{1}{C_{H_{m0}}}} \quad (I-1)$$

Siendo $A_{H_{m0}}$, $B_{H_{m0}}$, $C_{H_{m0}}$, los parámetros de posición, escala y forma de la distribución de Weibull de la dirección representativa y λ el número medio de temporales al año contenidos en la muestra de partida. Estos valores se recogen en la tabla ❶ de la ficha relativa a la caracterización extremal en el Anexo 2 de esta guía.

- 2 Determinar el periodo medio más probable (*moda*) asociado a la altura de retorno de la correspondiente dirección con la ecuación:

$$\hat{T}_{m02R} = a_{T_{m02}} + b_{T_{m02}} \ln(H_{m0R}) \quad (I-2)$$

Siendo $a_{T_{m02}}$, $b_{T_{m02}}$ los coeficientes de ajuste que se incluyen en la tabla ❷ de las fichas del Anexo 2.

Si el modo de fallo depende de la duración de la tormenta (número de olas) además hay que realizar los siguientes cálculos

- 3 Determinar la magnitud, \hat{M}_R , más probable (*moda*) asociada a la altura de retorno previamente establecida empleando la ecuación:

$$\hat{M}_R = a_M + b_M \ln(H_{m0R}) \quad (I-3)$$

siendo a_M , b_M los coeficientes de ajuste que se incluyen en la tabla ❸ de las fichas del Anexo 2 para la dirección analizada.

- 4 Para calcular la duración de la tormenta, \hat{D}_R , sustituir la magnitud \hat{M}_R resultante de la ecuación anterior en la expresión correspondiente al patrón de tormenta de la dirección analizada.

$$\hat{D}_R = \frac{2 \cdot \hat{M}_R}{(H_{m0R} - H_{m0_{u,tor}}) \cdot \delta} \quad (I-4)$$

siendo $H_{mo_u_tor}$ la altura umbral que establece la condición de tormenta en la dirección de procedencia analizada que se incluye en la tabla ❶ y δ el coeficiente representativo del patrón de tormenta en la dirección considerada que se incluye en la tabla ❸, ambas tablas forman parte de las fichas del Anexo 2.

5. Determinar el número de olas del temporal de retorno, \hat{N}_{ZR} , de la siguiente forma:

a₁) Calcular la duración, entre el primer y segundo pico, $\hat{D}_{R_{-}(\hat{x}_1, \hat{x}_2)}$, como:

$$\hat{D}_{R_{-}(\hat{x}_1, \hat{x}_2)} = \hat{D}_R \cdot (\bar{x}_2 - \bar{x}_1) \quad (I-5)$$

Siendo \hat{D}_R la duración más probable de la tormenta de retorno calculada en (ec. I-4) y \bar{x}_1, \bar{x}_2 , las abscisas del primer y segundo pico del patrón trapezoidal de tormenta que figuran en la tabla ❸ de las fichas del Anexo 2.

a₂) Calcular el número de olas como

$$\hat{N}_{ZR} = \frac{\hat{D}_{R_{-}(\hat{x}_1, \hat{x}_2)} \cdot 3600}{\hat{T}_{m02R}} \quad (I-6)$$

Siendo \hat{T}_{m02R} el periodo medio calculado en (ec. I-2), y $\hat{D}_{R_{-}(\hat{x}_1, \hat{x}_2)}$ la duración calculada en (ec. I-5).

Si se trabaja con **coeficientes de seguridad característicos**, además de los valores centrados, anteriormente calculados, hay que calcular los correspondientes al 10% de significación, (nivel de confianza del 90%). La obtención de estos valores requiere efectuar los siguientes cálculos.

0.b. Determinar la desviación típica de la altura de retorno previamente establecida empleando la relación

$$\sigma_{Hm0R} = A_{\sigma Hm0} + B_{\sigma Hm0} \cdot \ln(R) \quad (I-7)$$

siendo $A_{\sigma Hm0}$, $B_{\sigma Hm0}$ los parámetros de la relación logarítmica que se incluyen en la tabla ❶ de las fichas del Anexo 2 y R el periodo de retorno establecido para el carácter general de la obra.

1.b. Calcular la altura de retorno al 90% de confianza asumiendo distribución normal para la variabilidad estadística, es decir

$$H_{m0R}(90\%) = H_{m0R} + 1.64 \cdot \sigma_{Hm0R} \quad (I-8)$$

Siendo H_{m0R} la altura de retorno calculada en (ec. I-1) y σ_{Hm0R} , la desviación típica de la altura de retorno, H_{m0R} , calculada en (ec. I-7).

2.b. Calcular el periodo medio más probable asociado a la altura de retorno al 90% de la correspondiente dirección con la ecuación

$$\hat{T}_{m02R}(90\%) = a_{Tm02} + b_{Tm02} \ln(H_{m0R}(90\%)) \quad (I-9)$$

Siendo a_{Tm02} , b_{Tm02} los coeficientes de ajuste que se incluyen en la tabla 5 del Anexo 2 y $H_{m0R}(90\%)$ la altura de retorno calculada en (ec. I-8)

Si el modo de fallo depende de la duración de la tormenta (número de olas) es necesario realizar los siguientes cálculos

3. b. Determinar la magnitud más probable asociada a la altura de retorno al 90% de la correspondiente dirección con la ecuación

$$\hat{M}_R(90\%) = a_M + b_M \ln(H_{m0R}(90\%)) \quad (I-10)$$

siendo a_M , b_M los coeficientes de ajuste que se incluyen en la tabla 7 del anexo 2 para la dirección analizada y $H_{m0R}(90\%)$ la altura de retorno calculada en (ec. I-8)

4. b. Sustituir la magnitud $\hat{M}_R(90\%)$ resultante de la ecuación anterior en la expresión correspondiente al patrón de tormenta de la dirección analizada

$$\hat{D}_R(90\%) = \frac{2 \cdot \hat{M}_R(90\%)}{(H_{m0R}(90\%) - H_{mo_u_tor}) \cdot \delta} \quad (I-11)$$

Siendo $\hat{M}_R(90\%)$ la magnitud calculada en (ec. I-10), $H_{m0R}(90\%)$ la altura de retorno calculada en (ec. I-8), $H_{mo_u_tor}$ la altura umbral que establece la condición de tormenta en la dirección de procedencia analizada que se incluye en la tabla 1 y δ el coeficiente representativo del patrón trapezoidal de tormenta en la dirección considerada que se incluye en la tabla 8, ambas tablas forman parte de las fichas del Anexo 2.

5. b. Determinar el número de olas del temporal de retorno, $\hat{N}_{ZR}(90\%)$ de la siguiente forma:

b₁) Calcular la duración entre el primer y segundo pico de la tormenta teórica, $\hat{D}_{R(\bar{x}_1, \bar{x}_2)}(90\%)$, como:

$$\hat{D}_{R(\bar{x}_1, \bar{x}_2)}(90\%) = \hat{D}_R(90\%) \cdot (\bar{x}_2 - \bar{x}_1) \quad (I-12)$$

Con $\hat{D}_R(90\%)$ la duración calculada en 4. b, (ec I-11) y \bar{x}_1, \bar{x}_2 , las abscisas del primer y segundo pico del patrón trapezoidal de tormenta que figuran en la tabla 8 de las fichas del Anexo 2.

b₂) Calcular el número de olas como

$$\hat{N}_{ZR}(90\%) = \frac{\hat{D}_{R(\bar{x}_1, \bar{x}_2)}(90\%) \cdot 3600}{\hat{T}_{m02R}(90\%)} \quad (I-13)$$

A.1. Método de los coeficientes globales de seguridad, Z

- 1) Sustituir los valores correspondientes (centrados o característicos) en la expresión del coeficiente global de seguridad del modo de fallo en consideración, en el

numerador, si la variable considerada actúa como variable de resistencia, R , o en el denominador si actúa como variable de carga, L .

- 2) Verificar si $Z = \frac{R}{L} > x$
siendo x el valor del coeficiente de seguridad global requerido para el modo de fallo en consideración que se especifica en la ROM 0.0-01.

A_II. Método de los coeficientes parciales de seguridad, S

- 1) En la expresión correspondiente al coeficiente parcial de seguridad expresado como la diferencia entre los términos favorables, o de resistencia y los de carga representativos del modo de fallo en consideración ($S=R_v - L_v$) se sustituyen los valores representativos previamente calculados, afectados por los coeficientes parciales de ponderación recogidos en la ROM 0.0-01, ROM 0.2-90 y en distintos Eurocódigos.
- 2) Verificar si $S = R_v - L_v > 0$

b) NIVEL II.

La aplicación del Nivel II requiere estandarizar los valores de las variables representativas H_{m0R} , \hat{T}_{m0R} y \hat{N}_{zR} y los correspondientes a las variables estructurales que intervienen en el modo de fallo. La ecuación de verificación resultante de la estandarización de las variables permite dividir el espacio en dos regiones, la de seguridad y la de fallo, pudiéndose estimar la probabilidad de fallo mediante la distancia entre el origen y la superficie de fallo. Esta distancia, denominada índice de fiabilidad, está expresada en términos de desviaciones estándar. El punto de la superficie de fallo más próximo al origen de coordenadas se denomina punto de diseño.

Dada la complejidad del método y su dudosa representatividad, debido a las simplificaciones que en la mayoría de los modos de fallo es necesario realizar para facilitar la resolución del sistema de ecuaciones, es más recomendable la aplicación del nivel superior, NIVEL III. Por este motivo, la descripción de este método de verificación no se detalla. En cualquier caso, la información requerida para su aplicación se encuentra recogida en las tablas incluidas en el Atlas.

c) NIVEL III

En la aplicación de este método se contemplan distintas aproximaciones.

El procedimiento simplificado propuesto para este método de verificación se recoge en el **apartado CI**. La descripción detallada para estructuras en talud, que admiten ser reparadas, se recoge en el **apartado CII** y la aplicación completa, incluyendo la descomposición de los estados en olas individuales, empleada en muchos casos para el dimensionamiento de diques verticales, cuyo colapso se produce por la superación de un solo evento en el **apartado CIII**.

Con objeto de simplificar y reducir el tiempo de cálculo en el proceso de simulación, en ambas aproximaciones se asume que:

El número de temporales anuales, λ , obedece a un proceso de Poisson estacionario y por lo tanto no varía en el transcurso de la vida útil. Las comparaciones realizadas considerando la aleatoriedad de este parámetro no mostraron diferencias significativas.

Para la estimación de la duración de las tormentas se asumen las relaciones empíricas derivadas de la cópula altura de ola-magnitud.

C1) MÉTODO I. Descripción de la metodología simplificada para la verificación de los modos de fallo con el NIVEL III

Esta aproximación trata de reducir el tiempo computacional requerido por la simulación de muestras bivariadas y, en general producirá resultados más conservadores (mayor probabilidad de fallo) que el MÉTODO II, descrito en el apartado CII) que se incluye a continuación, por imponer menor número de ligaduras entre las variables representativas del ciclo de sollicitación.

Su aplicación requiere generar N muestras, tanto de cada una de las variables aleatorias estructurales como de las alturas de ola de retorno, $H_{m0,R,i}$. En general, se asumirá la distribución normal para todas las variables y un valor de N suficientemente grande (del orden de $N \approx 20000$).

Los valores $H_{m0,R,i}$ se obtienen a partir de una distribución normal de media, μ_{Hm0R} , y desviación σ_{Hm0R} :

$$\mu_{H_{m0R}} = H_{m0R} = A_{H_{m0}} + B_{H_{m0}} \cdot \left[-\ln\left(\frac{1}{\lambda R}\right) \right]^{C_{H_{m0}}}$$

$$\sigma_{H_{m0R}} = A_{\sigma_{H_{m0}}} + B_{\sigma_{H_{m0}}} \cdot \ln(R)$$

siendo R el periodo de retorno requerido para la obra, λ el número medio de temporales anuales y $A_{H_{m0}}$, $B_{H_{m0}}$, $C_{H_{m0}}$ los parámetros de la distribución de Weibull de H_{m0} , y $A_{\sigma_{H_{m0}}}$ y $B_{\sigma_{H_{m0}}}$, los parámetros que caracterizan la variabilidad estadística de H_{m0} , que se recogen en la tabla 1 del anexo 2.

Básicamente este procedimiento considera la variabilidad estadística de la altura de retorno resultante de la distribución teórica (ver figura 2.1).

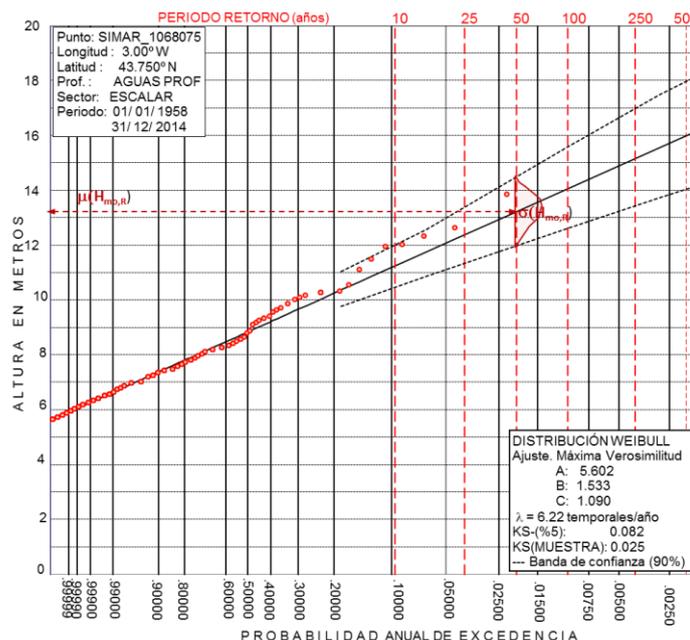


Figura 2.1. Variabilidad estadística de los picos de los temporales

Para cada una de alturas de retorno generadas se establece el periodo medio, la magnitud, duración y número de olas de la tormenta empleando las relaciones logarítmicas y el patrón de tormenta en los términos referidos para la aplicación del NIVEL I con los coeficientes de seguridad centrados.

Introduciendo los valores estructurales y climáticos de las N muestras en la ecuación de verificación del modo del fallo en consideración se obtienen los correspondientes estados Fallo/No Fallo, pudiéndose estimar la probabilidad de fallo como:

$$P_{f,x} = \text{Número de Fallos}/N \quad (N: \text{Número de Casos}) \quad (I-14)$$

CII) MÉTODO II. Descripción de la metodología avanzada para la verificación de los modos de fallo con el NIVEL III

Esta aproximación, computacionalmente más costosa, es la recomendada, puesto que considera las muestras bivariadas de (H_{m0}, T_{m02}) que resultan de su correspondiente función de distribución conjunta (función cópula).

La aplicación de este método en los términos propuestos requiere generar N muestras del conjunto de variables estructurales que intervienen en la simulación y λVN del conjunto de muestras de temporales, definidos en términos de (H_{m0}, T_{m02}) .

Si el modo de fallo depende de la duración, para establecer la magnitud de la tormenta se utilizan los valores característicos que resultan de la relación logarítmica entre ésta y la altura de ola generada (**ec I-3**). Conocida esta magnitud y empleando la expresión del patrón de tormenta, que se incluye en la tabla 8 de las fichas del Anexo 2 de esta guía, se calcula la duración del temporal normalizado (**ec I-4**) y con esta duración y las abscisas de los dos picos del patrón trapezoidal normalizado (**ec I-5**) se determina el tiempo efectivo del daño.

Dividiendo esa duración, expresada en segundos, por el periodo medio del temporal generado, (**ec I-2**), se obtiene el número de olas que se emplea en la ecuación de verificación.

Si, para la muestra i -ésima de la estructura, ese temporal no ocasiona daño, se pasa a analizar la siguiente tormenta de las λV , generadas, hasta que se produce el primer fallo, y se continúa con todos los ciclos de tormenta. El procedimiento se repite con el resto de las estructuras, analizando si cada una falla cuando se le somete a la acción de los λV temporales. Concluido el análisis de todas las estructuras se calcula la probabilidad de fallo empleando la (**ec. I-14**).

Si se dispone de fórmula de diseño progresiva se determinan las posiciones de los vértices $(X_{1Real_k,i}, Y_{1Real_k,i}), (X_{2Real_k,i}, Y_{2Real_k,i})$ del patrón trapezoidal como:

$$\begin{aligned} X_{1Real_k,i} &= \widehat{D}_{R,k,i} \cdot \bar{x}_1 \quad , \quad X_{2Real_k,i} = \widehat{D}_{R,k,i} \cdot \bar{x}_2 \\ Y_{1Real_k,i} &= H_{Equiv_k,i} \cdot \bar{y}_1 \quad , \quad Y_{2Real_k,i} = H_{Equiv_k,i} \cdot \bar{y}_2 \end{aligned}$$

Siendo $\widehat{D}_{R,k,i}$ la duración total de la tormenta (**ec. I-4**), $(\bar{x}_1, \bar{y}_1), (\bar{x}_2, \bar{y}_2)$ los vértices que definen el patrón de tormenta y $H_{Equiv_k,i}$ la altura de ola equivalente dada por

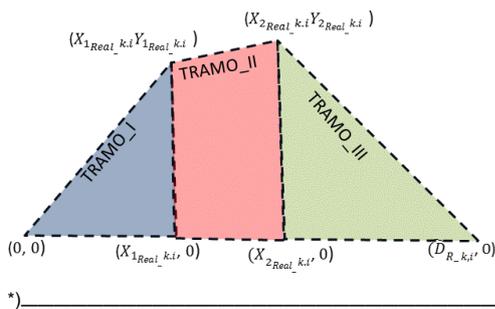
$$H_{Equiv_k,i} = (H_{moR,k,i} - H_{mo_u_tor})$$

Con $H_{moR_{k,i}}$, la altura de ola de retorno generada y $H_{mo_{u_{tor}}}$, la altura de ola umbral que define la presencia de tormenta de la dirección analizada. Con estos valores se obtiene el patrón de la tormenta real, que tiene que ser analizado para cada uno de los estados de mar que la conforman. Para efectuar este análisis se selecciona un intervalo de tiempo, Δt , y se definen los N_c estados, $N_c = \widehat{D}_{R_{k,i}}/\Delta t$ que resultan para todo el ciclo de solicitación (se aconseja considerar $\Delta t=1h$).

Para cada intervalo de tiempo se determina la altura de ola asociada, recorriendo el perímetro del trapecoide según se muestra en la figura 2.2, y se estima el T_{m02} asociado con la relación logarítmica (ec I-2).

Dividiendo el Δt elegido, expresado en segundos, por el T_{m02} calculado se obtiene el N_z que sustituido, junto con el resto de variables climáticas de ese estado (H_{m0} , T_{m02} y N_z), en la ecuación de verificación determina el fallo, o no fallo de la i -ésima estructura analizada, pasándose a analizar el siguiente temporal si ninguno de los estados produce fallo, o continuándose con el resto de estados hasta verificar la condición de fallo

El proceso se repite para todas las $i=1,2, \dots, N$ estructuras y concluido el análisis la probabilidad de fallo se calcula con en anteriores casos



*) $H_{mo_{u_{tor}}}$: umbral de tormenta de la dirección analizada que se incluye en la tabla 1
 $(X_{1Real_{i,k}}, Y_{1Real_{i,k}})$; $(X_{2Real_{i,k}}, Y_{2Real_{i,k}})$:
 Vértices del patrón trapezoidal de la tormenta real

Figura 2.2. Cálculo de las alturas de ola de los estados de mar de un ciclo de solicitación

TRAMO I:

$$l = 1 \dots X_{1Real_{i,k}}$$

$$H_{m0_{i,k,l}} = H_{m0_{u_{tor}}} + \left(Y_{1Real_{i,k}} / X_{1Real_{i,k}} \right) \cdot \sum_1^l \Delta t_l$$

TRAMO II:

$$l = X_{1Real_{i,k}}, \dots, X_{2Real_{i,k}}$$

$$H_{m0_{i,k,l}} = H_{m0_{u_{tor}}} + Y_{1Real_{i,k}}$$

$$+ \left[\frac{Y_{2Real_{i,k}} - Y_{1Real_{i,k}}}{X_{2Real_{i,k}} - X_{1Real_{i,k}}} \right] \cdot \left[\sum_{X_{1Real_{i,k}}}^l \Delta t_l - X_{1Real_{i,k}} \right]$$

TRAMO III

$$l = X_{2Real_{i,k}}, \dots, D_{R_{i,k}}$$

$$H_{m0_{i,k,l}} = H_{m0_{u_{tor}}} + \left[\frac{Y_{2Real_{i,k}}}{D_{R_{i,k}} - X_{2Real_{i,k}}} \right] \cdot \left[\sum_{X_{2Real_{i,k}}}^l \Delta t_l - D_{R_{i,k}} \right]$$

CIII) MÉTODO III. Ampliación de la descripción de la metodología completa para la verificación de Diques Verticales con el NIVEL III.

En la ROM 1.0-09 la verificación de la ecuación de diseño incluye la descomposición de los estados de mar en olas individuales. Si bien este es el procedimiento riguroso para analizar la estabilidad de cualquier tipo de obra, en el caso de los diques en talud puede resultar excesivo, dado que por lo general son estructuras que podrían ser reparadas tras el paso del temporal. Sin embargo, para diques verticales, cuya destrucción se asume que puede ocurrir con la presentación de un único evento, dicha descomposición es requerida.

Aunque la altura de ola máxima del estado de mar puede no estar asociada al pico del temporal, definido en términos de H_{m0} , teniendo en cuenta el coste computacional y habida cuenta que en la verificación se generan miles de muestras, los procedimientos propuestos solo consideran la descomposición en olas individuales del pico de temporal.

Como en el caso anterior, para la verificación se contemplan varias aproximaciones. Una simplificada y otra más completa que es la recomendada.

1- Aproximación simplificada

Esta aproximación, muy sencilla, es computacionalmente bastante menos costosa que la aproximación completa.

Su aplicación conlleva la generación de N muestras del conjunto de variables estructurales y otras tantas, N , del conjunto de $\lambda \cdot V$, temporales en la vida útil, V , definidos en términos de la cópula bivariada (H_{m0}, T_{m02}) .

Para cada una de las H_{m0} generadas se calcula la correspondiente H_{max} , mediante la expresión $H_{max}=1.8 \cdot H_{m0}$ y el periodo de pico asociado, T_p , se aproxima por $T_p \approx 1.4 \cdot T_{m02}$, T_{m02} calculado con **(ec I-2)**.

Concluido el análisis de todas las estructuras se calcula la probabilidad de fallo empleando la **(ec. I-14)**.

2- Aproximación avanzada ESCALAR

En esta aproximación la generación de la serie temporal se realiza en términos escalares, asumiendo que el espectro asociado a cada estado del mar es de tipo JONSWAP, con H_{moR} obtenida de la **(ec I-1)**, $T_p = 1.4 T_{m02}$, con T_{m02} calculado con **(ec I-2)**, y asumiendo un factor de apuntamiento $\gamma=3.3$.

Para reducir el tiempo de cálculo, los periodos de cada serie de olas individuales se agrupan en intervalos de 0.5s y para cada uno de estos intervalos se selecciona su altura de ola máxima, H_{MAX} , y se recupera el periodo original asociado a dicha altura. Estos pares de valores son los utilizados en el proceso de verificación. Esta simplificación reduce el tiempo computacional sin pérdida alguna de representatividad.

En los casos analizados, las diferencias entre esta aproximación y la simplificada no resultaron muy significativas. La magnitud de estas diferencias dependerá fundamentalmente del grado de dependencia entre las variables de carga involucradas (H_{m0}, T_{m02}) . Si la dependencia es alta, la variación de los periodos asociados a una determinada altura de ola no diferirá notablemente de su valor más probable y el resultado estará cerca del resultante del método simplificado. A medida que disminuye la dependencia, las diferencias entre las dos aproximaciones deberían aumentar (véase la figura 2.3).

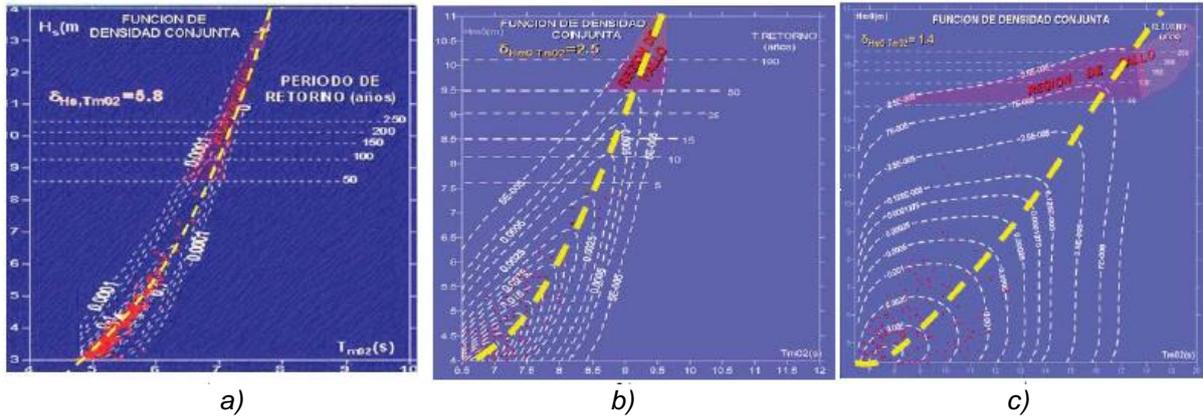


Figura 2.3. Función de densidad conjunta $f(H_{m0}, T_{m02})$ de muestras con distinto grado de dependencia.
- - Contornos de densidad conjunta; *** Valores (H_{m0}, T_{m02}) de tormenta; Valor más probable
a) Dependencia alta; b) Dependencia media; c) Baja dependencia

3- Aproximación completa DIRECCIONAL

Para analizar el efecto de la dispersión angular (inherente al oleaje real) en la estimación de la probabilidad de fallo, la generación de la serie temporal se realiza asumiendo un espectro direccional paramétrico, compuesto por un espectro escalar tipo JONSWAP y una función de dispersión angular tipo Mitsuyasu-Goda-Suzuky (MGS).

$$S(f, \theta) = S_j(f) \cdot G(f, \theta)$$

Esta última viene dada por la expresión:

$$G(f, \theta) = G_0 \cos^{2s} \left(\frac{\theta}{2} \right)$$

Con
$$G_0 = \frac{1}{\pi} \cdot 2^{2s-1} \frac{\Gamma^2(s+1)}{\Gamma(2s+1)}$$

Y
$$S = \begin{cases} S_{MAX} \cdot \left(\frac{f}{f_p} \right)^5 & : f < f_p \\ S_{MAX} \cdot \left(\frac{f}{f_p} \right)^{-2.5} & : f \geq f_p \end{cases} \quad (I_{15})$$

Los parámetros del espectro JONSWAP se determinan según lo descrito en la *Aproximación completa ESCALAR*, y la estimación del parámetro de dispersión angular, S_{MAX} , utiliza la relación exponencial obtenida a partir del ábaco elaborado por Goda, 1985, pp. 31, incluido en figura 1.5, asumiendo la longitud de onda asociada al periodo de pico, T_p :

$$S_{MAX} \approx 188.7 e^{-86.8 \left(\frac{H_{m0}}{L T_p} \right)} \quad (I_{16})$$

A partir de este valor puede estimarse a dispersión angular, σ , en radianes, mediante la expresión:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2}{S_{max}-1}} \quad \sigma \text{ en radianes} \quad (I_{17})$$

El dominio del espectro direccional completo se discretiza en 23 x 72 componentes, de la siguiente forma:

El rango de frecuencias, entre los valores $1/25 \text{ s}^{-1}$ y $1/2 \text{ s}^{-1}$, considerando $\Delta f = 1/t \text{ s}^{-1}$, con $t=1\text{s}$.
El rango de direcciones, entre los valores 0° y 360° , con intervalos regulares de $\Delta\theta = 5^\circ$.

Para cada una de las componentes de la función espectral direccional asumida, se obtienen los valores de densidad espectral con sus correspondientes alturas de ola, $H_{k,i,j,l}(l)$, $l = 1, N_z$, periodos, $T_{k,i,j,l}(l)$, $l = 1, N_z$ y direcciones de procedencia, $\theta_{k,i,j,l}(l)$, $l = 1, N_z$

3 EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE LA VERIFICACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO

En este capítulo se describe el procedimiento propuesto para la aplicación de la metodología detallada en los anteriores capítulos a las dos tipologías de dique de abrigo tradicionales, diques en talud (que admiten ser reparados tras el paso del temporal) y diques verticales (cuyo colapso se produce por la superación de un solo evento).

En ambos casos el análisis de la probabilidad de fallo se efectúa de forma independiente para los principales modos de fallo de estas tipologías estructurales.

En el primer caso, diques en talud, el análisis probabilista del fallo se realiza en términos de la altura de ola significativa, para los diques verticales se considera la descomposición de cada estado en alturas de ola individuales.

3.1 EJEMPLO DE APLICACIÓN EN UN DIQUE EN TALUD CON SIMULACIÓN DE MONTECARLO (MÉTODO DE NIVEL III).

La aplicación de la verificación de la estabilidad del manto principal, la berma de pie y el espaldón de un dique en talud con el método probabilista de Nivel III se presenta en este apartado.

La estructura analizada se divide en un total de 7 secciones. En unas, las próximas al arranque (secciones 1 a 3), el manto principal está constituido por piezas de escollera. El resto de las secciones por bloques cúbicos de hormigón (ver figura 3.1).

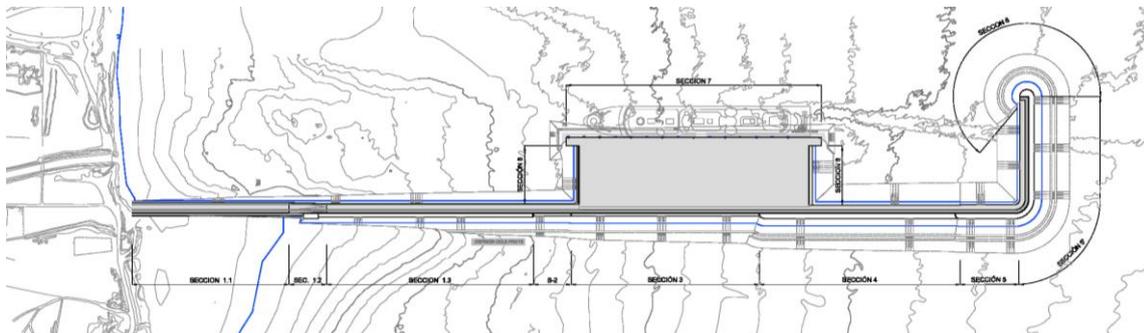


Fig. 3.1. Disposición del dique de abrigo

Las fórmulas de diseño consideradas para las piezas del manto principal son las propuestas por ³⁾Hudson, para las secciones 1 a 3 y por ⁴⁾Berenguer-Baonza para el resto de secciones. Para la berma de pie se considera la de ⁵⁾Gerding, asumiéndose factores de oblicuidad resultantes de las expresiones de ⁶⁾Van Gent, para la berma Berenguer & Baonza para el manto principal.

³⁾ Hudson R.(1952):Wave forces on breakwaters. Coastal Engineering Conference proceeding nº 115.

⁴⁾ Berenguer & Baonza (1999) Experimental research on hollowed cubes for breakwaters protection, Costal Structures

⁵⁾ Gerding (1993) Toe structure stability of rubble mound breakwater. Master thesis at Delft Univ. of Tech.

⁶⁾ Van Gent (2014) Oblique wave attack on rubble mound breakwaters. Coastal Engineering 88, 43-54.

Los valores de las variables de carga establecidos para el dimensionamiento fueron seleccionados con base a los índices IRE e ISA dados por la propiedad y estableciéndose un periodo de retorno de los temporales de 140 años, para los cuales debe verificarse que la probabilidad de fallo de los distintos modos fuera inferior a 0.10 de acuerdo con lo indicado con la ROM 1.0 09.

Con base a estos valores se estimó una altura de ola de cálculo, estableciéndose el peso de las piezas con las fórmulas de diseño referidas.

En la verificación con el Nivel III se asume la independencia estadística entre las variables climáticas y estructurales, caracterizando estadísticamente estas últimas por una distribución normal centrada en los valores característicos calculados con el método cuasi-probabilista, Nivel I, y una desviación estimada a partir de la información disponible o, en su defecto, de forma subjetiva en base a la experiencia.

Las fórmulas de diseño referidas tienen un rango de aplicación limitado pudiendo suceder que para alguna de las muestras generadas en la verificación la expresión considerada pierda validez. Esta situación se pone de relieve en la verificación probabilista del dimensionamiento que se incluye en el correspondiente apartado.

En las formulaciones de Hudson y Gerding que sólo contemplan la variable altura de ola significativa, H_{m0} , se utiliza su función de distribución marginal paramétrica y en la formulación de Berenguer & Baonza, dependiente de H_{m0} y del periodo de pico, T_p , se considera la cópula bivariada de H_{m0} y T_{m02} (periodo medio) y la relación existente entre éste y el T_p asociado.

Los temporales resultantes a pie de obra han sido caracterizados estadísticamente en términos de H_{m0} y T_{m02} a través la cópula bivariada uniparamétrica de Gumbel.

Por simplificar el texto sin pérdida de información para los objetivos perseguidos en esta guía los resultados de la verificación del comportamiento del manto principal, berma de pie y espaldón, se refieren exclusivamente a la sección 4, aplicándose un procedimiento similar para el resto de las secciones

1) FÓRMULAS CONSIDERADAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO

a) Manto Principal

El manto principal de la sección 4 está constituido por bloques cúbicos de hormigón. Para su dimensionamiento, se consideró la ecuación de Berenguer & Baonza y el factor de oblicuidad propuesto por los autores para la incidencia de oleaje sobre esta sección.

Esta ecuación calcula el número de estabilidad de los elementos, N_s , en función del número de Iribarren a pie de dique, ξ_p referido a la longitud de onda del periodo de pico mediante la siguiente expresión:

$$N_s = \frac{\gamma \theta \cdot H_{m0}}{\Delta \cdot D_n} = 3.14 \cdot \xi_p^{-0.05} - 0.57$$

Con: $\xi_p = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_{m0}/L_{p_obra}}}$ y L_{p_obra} solución de la ecuación: $L_{p0} \cdot \tanh \left[\frac{2\pi h}{L_{p_obra}} \right] = L_{p_obra}$,

siendo h la profundidad a pie de obra, L_{p0} la longitud de onda en aguas profundas, $L_{p0} = \frac{g}{2 \cdot \pi} \cdot T_p^2$,
 y $T_p = 1.35 T_{m02}$, de acuerdo a la relación entre T_{m02} y T_p de los temporales de la dirección dominante en la zona de proyecto para la sección analizada

Su expresión en términos de la ecuación de verificación es:

$$g = A \cdot \Delta \cdot D_n \left[3.14 \cdot \left(\frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_{m0} / (L_{pobra})}} \right)^{-0.05} - 0.57 \right] - H_{m0} \cdot \gamma_\theta$$

Con

- A: Incertidumbre de la ecuación de diseño.
 - Δ : Relación de densidades del agua, ρ_w , y el hormigón, ρ_c .
 - D_n : Diámetro nominal de las piezas de hormigón = $[M / \rho_c]^{1/3}$, [m], con M=masa.
 - α : Pendiente del talud del manto.
 - H_{m0} : Altura de ola significativa (m).
 - γ_θ : Factor de oblicuidad de Berenguer y Baonza dado por
- $$\gamma_\theta = \frac{1 + \cos \theta}{2}$$

- Θ : Oblicuidad del frente a pie de obra [deg].

b) Berma de pie

La ecuación de verificación empleada para la berma de pie ha sido la propuesta por Gerding para el caso de no rotura de las olas (1993) considerándose el factor de oblicuidad propuesto por van Gent:

$$\frac{\gamma_\theta \cdot H_{m0}}{\Delta D_n} = \left(0.24 \frac{h_t}{D_n} + 1.6 \right) N_{od}^{0.15}$$

que, expresada en términos de la ecuación de verificación, se transforma en:

$$g = A \Delta D_n \cdot \left(0.24 \frac{h_t}{D_n} + 1.6 \right) N_{od}^{0.15} - \gamma_\theta \cdot H_{m0}, \text{ con:}$$

- N_{od} : Índice de averías: Con valores de 0.5 para comienzo de daño, 2 para algún daño y 4 fallo.
- h_t : Distancia desde la cota superior de la berma hasta la superficie libre del mar, considerando una marea meteorológica de 0.5m.
- γ_θ : Factor de oblicuidad de van Gent, dado por:

$$\gamma_\theta = (1 - c_\theta) \cos^2 \theta + c_\theta, \text{ siendo}$$

- Θ : Oblicuidad del frente a pie de obra.
- c_θ : Coeficiente, función del tipo de frente del oleaje:
 $c_\theta = 0.35$ para ondas de cresta larga.
 $c_\theta = 0.42$ para ondas de cresta corta, asumidas en la verificación de la berma.

c) Espaldón

La verificación de la respuesta estructural del espaldón al deslizamiento y vuelco se ha realizado asumiendo la formulación de Berenguer & Baonza. En esta aproximación las expresiones de las fuerzas y los momentos asociados, que varían en función de la relación entre la tasa del run up al 2%, $R_{u2\%}$, y la cota de coronación del espaldón, R_c , vienen dadas por:

Fuerza horizontal:

Si $R_{u2\%} > R_c$

$$F_x = \gamma_w \cdot h_f^{0.5} h_f \cdot L_{p_obra}^{1.5} \left(a \cdot \frac{R_u}{A_c^{2/3} \cdot B^{1/3}} + b \right)$$

Si $R_{u2\%} \leq R_c$

$$F_x = \gamma_w \cdot (R_u - W_c)^{0.5} \cdot L_{p_obra}^{1.5} \left(a \cdot \frac{R_u}{A_c^{2/3} \cdot B^{1/3}} + b \right)$$

a y b Función del parámetro de Iribarren:

$$\xi_p \leq 3.25 \rightarrow \begin{cases} a = 0.0121 \\ b = -0.0094 \end{cases}$$

$$\xi_p > 3.25 \rightarrow \begin{cases} a = 0.0118 \\ b = -0.0119 \end{cases}$$

R_c : Cota de coronación del espaldón [m].

F_x : Fuerza horizontal ejercida por el oleaje sobre el espaldón [t/m].

γ_w : Peso específico del agua de mar [t/m³].

$R_{u2\%}$: Ascenso de la lámina de agua del mar superado por el 2% de las olas [m].

El run-up se obtiene a partir de la expresión:

$$R_{u2\%} = 0.86 \cdot \xi_p^{0.54} \cdot H_{m0} \cdot \gamma_\theta$$

con γ_θ el factor de oblicuidad propuesto por la formulación de De Waal, de expresión:

$$\begin{aligned} \gamma_\theta &= 1 - 0.0022 \cdot \theta & \text{si } T < 7s \\ \gamma_\theta &= 1 + 0.0004 \cdot \theta - 0.0001 \cdot \theta^2 & \text{si } T \geq 7s \end{aligned}$$

W_c : Cota de cimentación del espaldón referida al nivel de mar considerado [m].

R_c : Cota de coronación del espaldón referida al nivel de mar considerado [m].

A_c : Cota de la berma de coronación referida al nivel de mar considerado [m].

B : Anchura de la berma de coronación [m].

$tg \alpha$: Tangente del ángulo del talud del manto exterior con la horizontal.

H_{m0} : Altura de ola significativa [m].

Θ : Ángulo de incidencia del oleaje [deg].

Fuerza vertical:

- Estimación central, F_y

Si $R_{u2\%} > R_c$

$$F_y = \gamma_w \cdot h_f^{0.5} \cdot L_{p_obra}^{1.5} \left(a \cdot \frac{R_u - W_c}{A_c^{2/3} \cdot B^{1/3}} + b \right)$$

Si $R_{u2\%} \leq R_c$

$$F_x = \gamma_w \cdot (R_u - W_c)^{0.5} \cdot L_{p_obra}^{1.5} \left(a \cdot \frac{R_u - W_c}{A_c^{2/3} \cdot B^{1/3}} + b \right)$$

con a y b

$$\xi_p \leq 3.25 \rightarrow \begin{cases} a = 0.0015 \\ b = 0.0020 \end{cases}$$

$$\xi_p > 3.25 \rightarrow \begin{cases} a = 0.0004 \\ b = 0.0028 \end{cases}$$

▪ *Término adicional, F'_y*

$$F'_y = \frac{-0.217 \cdot F - 0.022 \cdot L_{p_obra} + 0.012 \cdot L_{p_obra}}{2} \cdot (F - 0.043 \cdot L_{p_obra})$$

siendo F la anchura de la base del espaldón [m] L_{p_obra} la longitud de onda del periodo de pico a pie de obra y el resto de parámetros y valores se definen de igual forma que para F_x .

▪ *Fuerza total, F_{yT}*

Incluye la contribución de la base del espaldón, F , resultando la siguiente expresión:

$$F_{yT} = F_y + F'_y = F_y + (0.017 \cdot L_{p_obra} - 0.109 \cdot F) \cdot (F - 0.043 \cdot L_{p_obra})$$

Momento en x: Momento debido a la fuerza horizontal ejercida por el oleaje sobre el espaldón

Si $R_{u2\%} > R_c$

$$M_x = \gamma_w \cdot h_f \cdot L_{p_obra}^2 \left(a \cdot \frac{F_x}{\gamma_w \cdot h_f^{0.5} \cdot L_{p_obra}^{1.5}} + b \right)$$

Si $R_{u2\%} \leq R_c$

$$M_x = \gamma_w \cdot (R_u - W_c) \cdot L_{p_obra}^2 \left(a \cdot \frac{F_x}{\gamma_w \cdot (R_u - W_c)^{0.5} \cdot L_{p_obra}^{1.5}} + b \right)$$

con a y b

$$\xi_p \leq 3.25 = \begin{cases} a = 0.11337 \\ b = 0.00019 \end{cases}$$

$$\xi_p > 3.25 = \begin{cases} a = 0.10949 \\ b = -0.00008 \end{cases}$$

γ_w , R_u , W_c , $tg \alpha$, h_f , R_c , L_{p_obra} y ξ_p conservan el significado físico referido para el cálculo de las fuerzas.

Momento en y: Momento total debido a la fuerza vertical ejercida por el oleaje sobre el espaldón

$$M_{yT} = F_y \cdot (F - 0.018 \cdot L_{p_obra}) + (F_{yT} - F_y) \left(\frac{0.046 \cdot L_{p_obra} - 0.217 \cdot F}{0.102 \cdot L_{p_obra} - 0.651 \cdot F} \right) \cdot (F - 0.043 \cdot L_{p_obra})$$

Momento del peso

$$M_w = W \cdot g \cdot d_p$$

Siendo:

W : peso del espaldón

g : aceleración gravedad.

d_p : brazo

Coefficiente de deslizamiento

$$CSD = \frac{(W - F_y) \cdot \mu}{F_x}$$

donde W es el peso de espaldón y μ el coeficiente de rozamiento, considerado en todos los casos el valor propuesto en la literatura $\mu=0.66$.

Coefficiente de vuelco

$$CSV = \frac{(M_w - M_y)}{M_x}$$

II) VERIFICACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO

Teniendo en cuenta la vida útil de la obra, establecida en $V=50$ años, y el número medio de temporales anuales de los oleajes de la dirección dominante, $\lambda=3$, las simulaciones realizadas analizan la respuesta (fallo/no fallo) de cada una de las estructuras de una muestra aleatoria de tamaño $N=20000$ ante los 150 temporales a lo que tendría que enfrentarse, en media, a lo largo de su vida útil.

Para el cálculo del tamaño de los bloques de hormigón se asume una densidad $\rho_c=2.30$ t/m³ y en la relación de densidades, $\Delta=[\rho_c/\rho_w-1]$, la correspondiente al agua se aproxima a $\rho_w=1.0255$ t/m³. En todos los casos el efecto la oblicuidad se ha considerado determinista. Los resultados y procedimientos empleados en el cálculo se describen a continuación.

a) Manto Principal

Como se indicó, por simplificación, los resultados de la verificación se presentan en la sección 4, cuyas características se recogen en la figura 3.2.

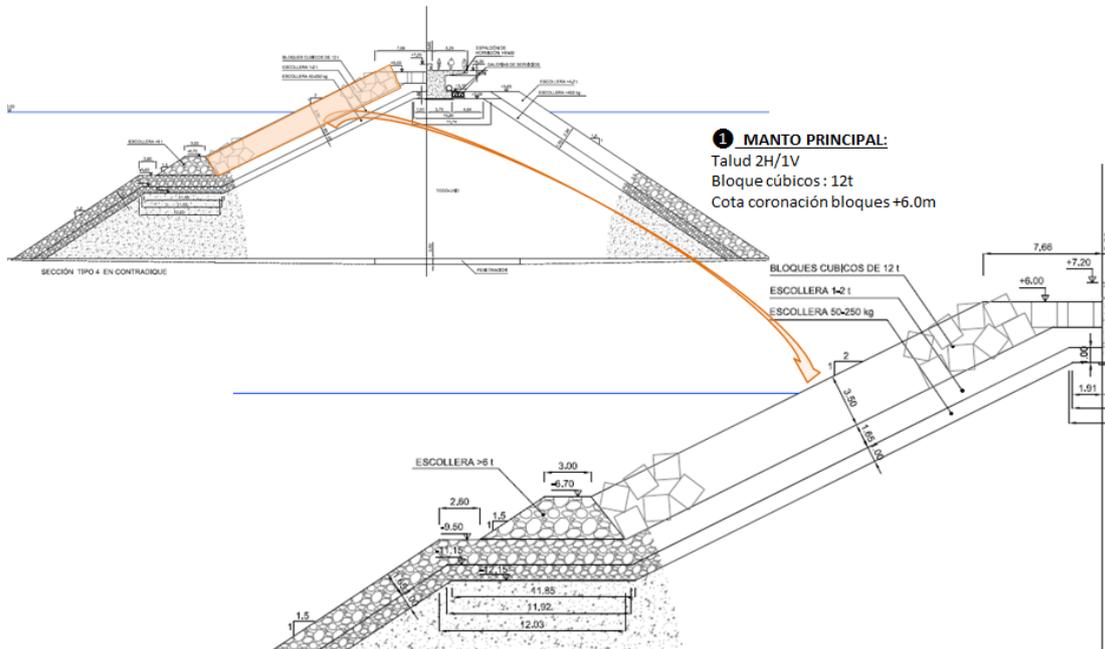


Figura 3.2. Características estructurales del manto principal de la sección 4

◇ Ecuación de Verificación

En el análisis probabilista de las secciones constituidas por bloques de hormigón las variables propias de la estructura han sido caracterizadas por una distribución normal, de media, el valor considerado en el dimensionamiento inicial y desviación, la obtenida de la información disponible o basada en la experiencia.

Para el oleaje, en el método simplificado, se asume, para la altura de ola significativa, una distribución normal de media, la estimación central de la altura de retorno obtenida del régimen extremal y de desviación la resultante de las bandas de confianza. Para el periodo medio se utiliza la relación logarítmica entre su valor más probable y la altura de ola de retorno. Para el método completo se trabaja con la distribución conjunta $C(F(H_{m0}), F(T_{m02}))$. En ambas aproximaciones la oblicuidad del frente se establece de forma determinista ya que para una dirección dada variaciones de $\pm 15^\circ$ no modifican sustancialmente la respuesta de la estructura.

Los valores deterministas y los parámetros de las distribuciones que intervienen en la ecuación de verificación se detallan en la tabla 3.1.a para las variables estructurales y 3.1.b. para las asociadas a los agentes climáticos.

Tabla 3.1.a Características de las variables estructurales en la ecuación de verificación

SECCION	VARIABLES ESTRUCTURA	FD. Normal		Determista	OBSERVACIONES
		μ	σ		
4	$\cot \alpha$	2.00	0.05	---	$\mu(\text{Diseño}), \sigma(\text{Subjetivo})$
	Dn	1.73	0.02		$\mu(\text{Diseño}), \sigma(\text{Fabricante})$
	Δ	1.24	0.03		$\mu(\text{Diseño}), \sigma(\text{Subjetivo})$
	A	1.00	0.20		(μ, σ) PIANC
	Oblicuidad: θ	--	--		60°
	Berenguer: γ_{θ}	--	--	0.75	

Tabla 3.1.b Caracterización de las variables climáticas

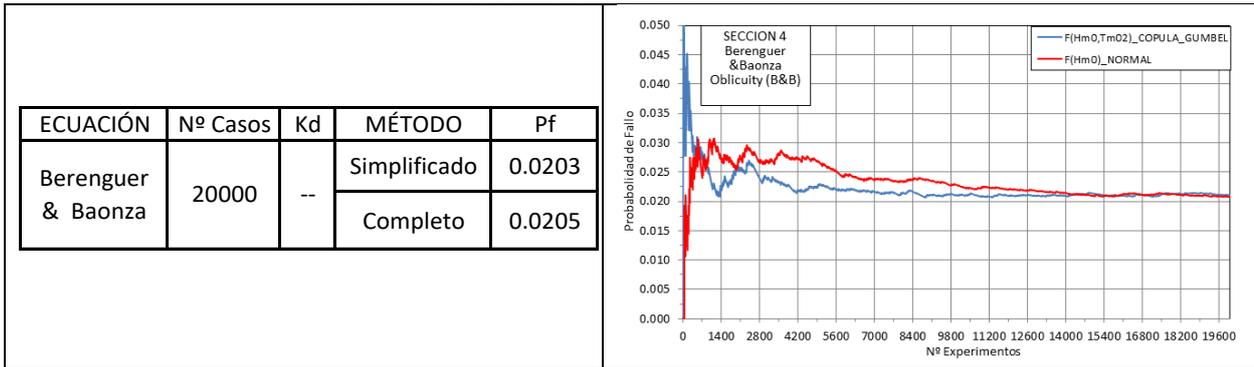
MÉTODO	VARIABLES CLIMÁTICAS	CARACTERIZACION		
SIMPLIFICADO	H_{m0}	MARGINAL FD NORMAL		
		μ	σ	C
	T_{m02}	4.455	1.229	--
		$T_{m02}=a + b \cdot \ln(H_{m0})$		
		a	b	
		2.340	3.799	
	T_p	$T_p=a + bT_{m02}$		
		a	b	
--		1.350		
MÉTODO	VARIABLES CLIMÁTICAS	MARGINALES FD WEIBULL		
COMPLETO	H_{m0}	A	B	C
	T_{m02}	1.243	0.855	1.493
	(H_{m0}, T_{m02})	4.455	1.229	1.789
		CÓPULA GUMBEL $C(F(H_{m0}), F(T_{m02}), \delta)$		
		δ		
	T_p	1.800		
		$T_p=a + bT_{m02}$		
a		b	--	
--	1.350			

◇ Probabilidad de fallo

Expresando la ecuación de verificación en los términos referidos en el subapartado anterior se han simulado un gran número de muestras de variables estructurales analizándose el comportamiento de cada una de las estructuras con los 150 temporales generados que en la zona de proyecto se presentaran durante la vida útil de la estructura.

Los resultados obtenidos y el número de muestras empleado en el cálculo se recogen numéricamente en la tabla 3.1.c, incluyéndose la representación gráfica de la evolución de la convergencia del método de simulación.

Tabla3.1.c Probabilidad de fallo de la sección 4



Como se puede apreciar en la sección 4 ambas aproximaciones producen resultados muy similares, aunque, dependiendo de las características estadísticas de las variables climáticas dichas aproximaciones pueden producir diferentes resultados.

b) Berma de pie

◊ *Ecuación de Verificación*

La ecuación de verificación empleada en el análisis probabilista de la berma es la ecuación de Gerding, asumiéndose para toda la longitud de la berma un nivel de averías medio, $N_{od}=2$.

Para el cálculo del tamaño de las piezas de escollera se asume $\rho_r = 2.65 \text{ t/m}^3$ y en la relación de densidades, $\Delta = [\rho_r / \rho_w - 1]$, la correspondiente al agua se aproxima a $\rho_w = 1.0255 \text{ t/m}^3$. El resto de variables estructurales que intervienen en la ecuación se expresan en términos aleatorios referidas a una distribución normal, considerándose determinista el nivel de averías, así como la distancia entre la cota superior de la berma y la superficie del mar incluyendo una depresión barométrica que induce una variación del nivel medio producida por una marea meteorológica de 0.50m. Para las variables asociadas a los agentes climáticos, referido en la ecuación de verificación exclusivamente a H_{m0} , se ha considerado una distribución de Weibull triparamétrica

Los valores deterministas y los parámetros de las distribuciones que intervienen en la ecuación de verificación se detallan en la tabla 3.1.d para las variables estructurales y en la tabla 3.1.e para la asociada a los agentes climáticos.

Tabla 3.1.d Caracterización estadísticas de las variables estructurales en la ecuación de verificación

SECCION	VARIABLES ESTRUCTURA	FD. Normal		Determinista	OBSERVACIONES
		μ	σ		
4	Dn	1.31	0.01	---	μ (Diseño), σ (Fabricante)
	Δ	1.59	0.03		μ (Diseño), σ (Subjetivo)
	A	1.00	0.20		(μ, σ) PIANC
	^{*)} h _t	--	--	6.87	--
	Nod	--	--	2.00	
	Oblicuidad: θ	--	--	60°	
	Berenguer: γ_{θ}	--	--	0.75	

^{*)} h_t incluyendo depresión marea meteorológica.

Tabla 3.1.e Caracterización estadística de las variables climáticas

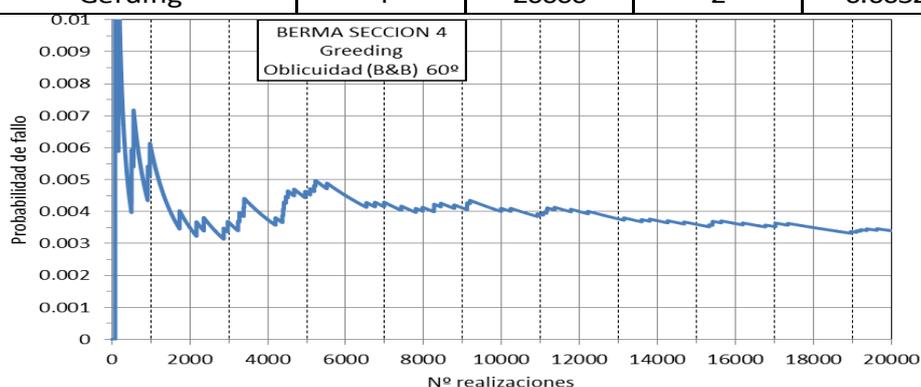
VARIABLE CLIMÁTICA	FD WEIBULL		
	A	B	C
H_{m0}	1.243	0.855	1.493

◇ Probabilidad de fallo

Para esta parte del dique, la verificación de la probabilidad de fallo se realiza simulando alturas de ola caracterizadas por la distribución de Weibull y variables estructurales, caracterizadas por distribuciones normales referidas en la tabla 3.1.d. Los resultados obtenidos, junto con la representación gráfica de la evolución de la convergencia de la probabilidad de fallo se muestran en la tabla 3.1.f.

Tabla 3.1.f Probabilidad de fallo, P_f , de la berma en la sección 4

ECUACIÓN VERIFICACIÓN	SECCION	Nº Casos	Nod	Pf
Gerding	4	20000	2	0.0032



c) Espaldón.

◇ Ecuación de Verificación

Al igual que con el manto principal y la berma de pie los resultados de la verificación probabilista del espaldón que se presentan corresponden a la sección 4 del dique. Las características de esta parte de la estructura se muestran en la figura 3.3.

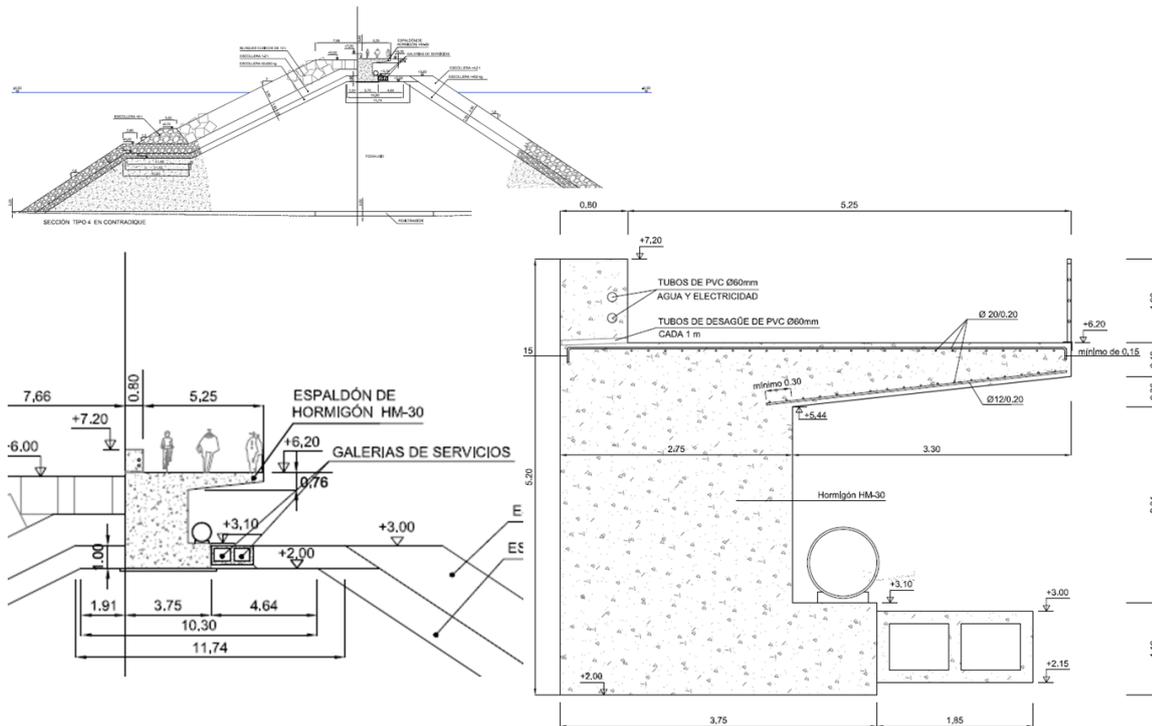


Figura 3.3. Características estructurales del espaldón de la sección 4

La ecuación de verificación empleada en el análisis probabilista del vuelco y deslizamiento del espaldón es la ecuación de ⁷⁾Berenguer & Baonza, expresando la anchura de la berma de coronación y el talud en términos de distribuciones normales y asumiendo deterministas el resto de parámetros estructurales que intervienen en la ecuación.

Los agentes climáticos incluidos en la ecuación son el oleaje (definido en términos de H_{m0} y T_p) y el nivel del mar. Para este último, se ha considerado la distribución normal. En cuanto al oleaje, la variable $H_{m0,R}$ se asume normalmente distribuida, estimando el T_{m02} más probable a partir de la relación logarítmica con $H_{m0,R}$ (aproximación simplificada) o a partir de la cópula bivariada de Gumbel (en el método completo). Para la estimación del T_p se ha empleado, en todos los casos, la relación lineal existente entre los periodos medios y de pico.

Los valores de las cotas de cimentación, W_c , y coronación, R_c , del espaldón y la cota de la berma de coronación, A_c , que se incluyen en la tabla 3.1.g como deterministas por haber sido referidas a su distancia al nivel medio del mar, tienen una cierta aleatoriedad ya que varían, en cada simulación, en función del nivel mar obtenido en la correspondiente simulación. Los parámetros de las distribuciones y relaciones de los agentes climáticos que intervienen en la ecuación de verificación se detallan en la tabla 3.1.h

Teniendo en cuenta los coeficientes de seguridad referidos en la ROM 0.5-05. Recomendaciones Geotécnicas (tabla 4.7.1) para el vuelco y deslizamiento ($CSD=CSV=1.1$) la ecuación de verificación se ha definido como la diferencia entre el Coeficiente de deslizamiento, o vuelco, resultante de los valores de las variables estructurales y climáticas generadas y el coeficiente de seguridad establecido en la referida recomendación. Si el resultado es igual o menor que 0 se considera que se produce el fallo.

⁷⁾ Berenguer & Baonza (2006) Diseño del espaldón de los diques rompeolas. II Congreso Nacional de Asociación técnica de Puertos y Costas, 35-46. Algeciras

Tabla 3.1.g Valores de las variables estructurales del espaldón

SECCIÓN	VARIABLES ESTRUCTUR	FD. Normal		Determinista	OBSEVACIONES
		μ	σ	Valor	
4	tg α	0.500	0.050	---	μ (Diseño), σ (Subjetivo)
	B	7.660	0.400		μ (Diseño), σ (Fabricante)
	γ_w	1.025	0.002		μ (Diseño), σ (Subjetivo)
	Ac	--	--	6.00	Cota berma de coronación
	Wc			2.00	Cota de coronación espaldón
	Rc			7.20	cota coronación espaldón
	hf			5.20	Altura del espaldón
	F			3.75	Anchura de la base del espaldon
	W			36.11	Peso espaldón
	dp			1.94	Brazo espaldón

Tabla 3.1.h. Caracterización de las variables climáticas.

MÉTODO	VARIABLES CLIMÁTICAS	CARACTRIZACION		
SIMPLIFICADO	H_{m0}	MARGINAL FD NORMAL		
		μ	σ	C
	T_{m02}	$T_{m02}=a +b \cdot \ln(H_{m0})$		
		a	b	--
		2.340	3.799	
		$T_p=a +bT_{m02}$		
	a	b		
	T_p	--	1.350	
MÉTODO	VARIABLES CLIMÁTICAS	MARGINALES FD WEIBULL		
COMPLETO	H_{m0}	1.243	0.855	1.493
	T_{m02}	4.455	1.229	1.789
	(H_{m0}, T_{m02})	CÓPULA GUMBEL C($F(H_{m0}), F(T_{m02}), \delta$)		
		δ	1.800	
	T_p	$T_p=a +bT_{m02}$		
		a	b	--
		--	1.350	

◇ Probabilidad de fallo

En las simulaciones realizadas muchos de los temporales generados producen fuerzas o momentos negativos debido a la falta de representatividad de la fórmula de diseño seleccionada con los estados de mar generados (ver tabla 3.1.j), no resultando por tanto de utilidad para la verificación de esta parte de la estructura. El análisis detallado de estos casos pone de relieve que esto se produce cuando se dan las siguientes situaciones:

- La relación entre la altura de ola significativa, H_{m0} , y la cota de la berma de coronación, A_c , no supera el límite inferior del rango de aplicación de esta ecuación ($H_{m0}/A_c < 0.7$).
- El parámetro de Iribarren asociado al temporal generado está fuera de los límites de los valores de los parámetros de la fórmula de diseño para el cálculo del run-up que no cumplen, o están próximos, al límite inferior de aplicación de esta ecuación, $\xi_p < 2.0$, ó, $\xi_p > 8.5$

Obviamente, de las muestras de 150 temporales anuales generados, sólo los que producían fuerzas y momentos positivos han sido considerados en el cálculo de la probabilidad de fallo. Los resultados obtenidos concluida la simulación se detallan en la tabla 3.1.i. incluyéndose en forma gráfica la evolución de la convergencia.

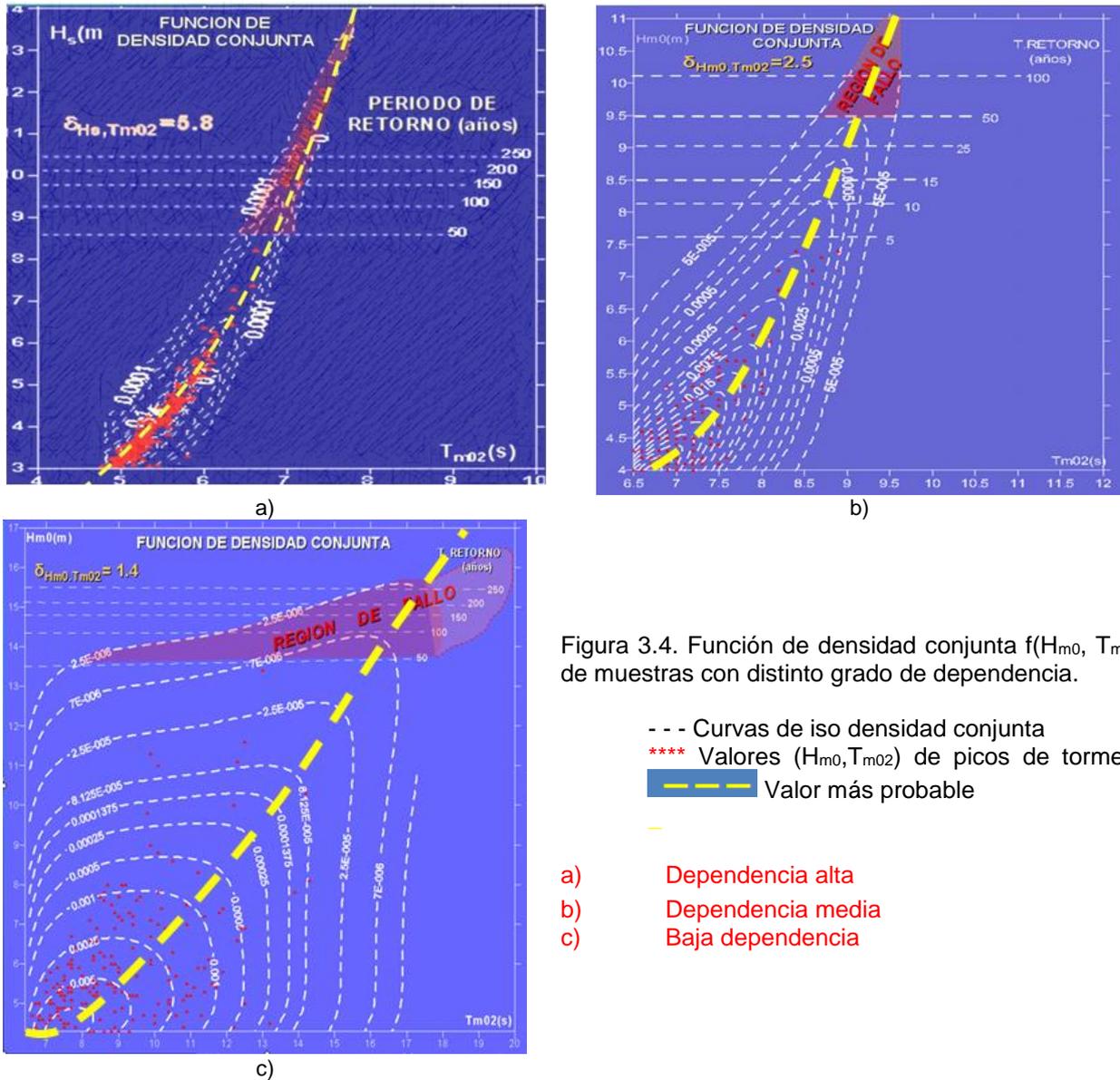
Tabla 3.1.i. Probabilidad de Vuelco y Deslizamiento, P_f , del espaldón (sección 4)

ECUACIÓN VERIFICACIÓN	FALLO	Nº Casos	CSD/CSV ROM 0.5-05	MÉTODO	Pf
Berenguer & Baonza	VUELCO	20000	1.1	Simplificado	0.0060
				Completo	0.0150
	DESGLIZAMIENTO			Simplificado	0.0170
				Completo	0.0330

Tabla 3.1.j. Rango de aplicación de la fórmula de Berenguer & Baonza para el cálculo de espaldones

ξ_{dp}	H_s/A_c	R_c/A_c	A_c/B	$\cot\alpha$
2.0 – 8.5	0.7 – 1.7	1.0 – 3.1	0.4 – 1.0	1.5 – 2.0

Como se puede apreciar la probabilidad de fallo obtenida con la aproximación que trabaja con las cópulas arroja probabilidades de fallo mayores que la que utiliza relaciones aproximadas. Las diferencias entre ambas en los casos analizados no son muy significativas, siendo la magnitud de la diferencia función del grado de dependencia de las variables implicadas. Si la dependencia es alta el rango de variación de los periodos asociados a una determinada altura de ola no diferirán marcadamente de su valor más probable, que es el que utiliza el método simplificado. A medida que la dependencia disminuya, aumentarán las diferencias entre ambas aproximaciones (ver figura 3.4)



3.2 EJEMPLO DE APLICACIÓN A DIQUES VERTICALES

La ecuación de verificación empleada en el análisis probabilista del vuelco y deslizamiento del cajón son las resultantes de la aplicación del método de Goda, considerándose la pendiente del fondo ($\tan \alpha$) y anchura del fondo de la sección frontal (B) como variables aleatorias con distribución normal.

Las características de la estructura considerada se recogen en la figura 3.5. En la verificación, la profundidad frente al dique, h , la profundidad sobre la cimentación del dique, d , la profundidad del fondo de la sección vertical, h_p , y la cota de coronación del francobordo, h_c , que se incluyen en la tabla 3.2.a como deterministas por haber sido referidas a su distancia al nivel medio del mar, tienen una cierta aleatoriedad ya que varían, en función del nivel de mar obtenido en la cada una de las muestras ce nivel del mar generadas en base a si distribución.

Para las variables asociadas a los agentes climáticos: oleaje, referido en la ecuación a la H_{m0} y T_p y nivel del mar, se han considerado, para el nivel del mar, la distribución normal y para las variables representativas del oleaje, H_{m0} y T_{m02} , la cópula bivariada de Gumbel referida a las marginales de Weibull triparámetrica de H_{m0} y T_{m02} . Para la estimación del T_p se ha empleado la relación lineal existente entre los periodos medios y de pico.

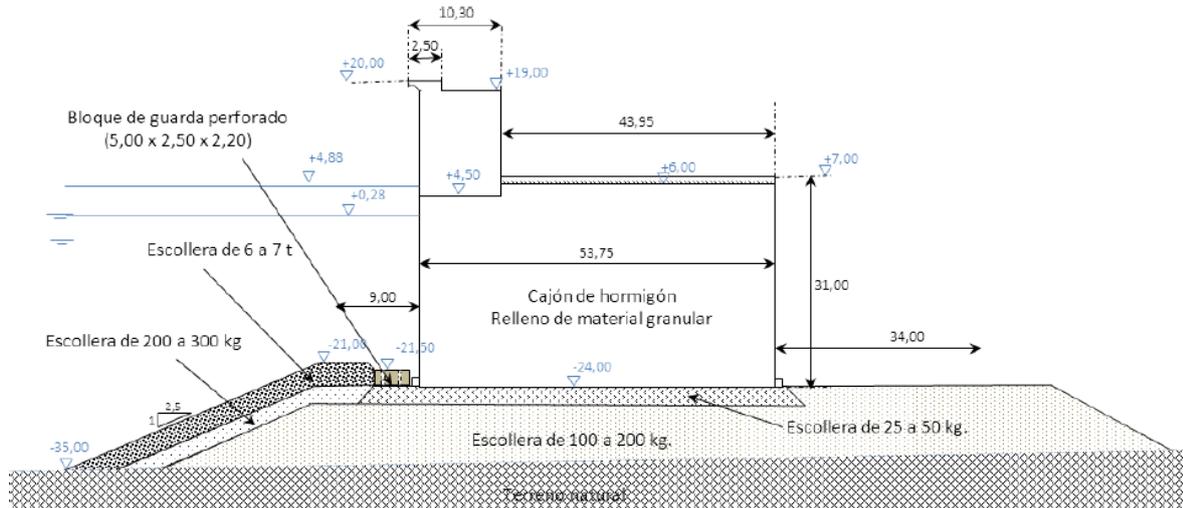


Figura 3.5- Características del dique

I) ECUACIONES CONSIDERADAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL CAJÓN

a) Coeficientes de Seguridad frente al Deslizamiento (CSD) y Vuelvo (CSV):

En primer lugar, se calcula la longitud de onda, L , usando la aproximación en aguas profundas:

$$L = \frac{9.81 \cdot (T_x)^2}{2\pi}$$

Donde T_x depende de la aproximación utilizada. En el *método simplificado* $T_x = T_p = 1.4 T_{m02}$, es decir el periodo de pico del estado de mar analizado (uno por cada ciclo de solicitación). En el *método completo* $T_x = T_{sec}$, siendo T_{sec} el T de cada una de las olas individuales que conforman el estado de mar analizado.

Con base a estos valores se calcula:

- Presión de las olas en la pared vertical del dique:

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= 0.5 (1 + \cos\beta) (\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2 \beta) \cdot w_0 \cdot g \cdot H_x \\ p_2 &= \frac{p_1}{\cosh\left(\frac{2\pi h}{L T_x}\right)} \\ p_3 &= \alpha_3 \cdot p_1 \end{aligned} \right\} \text{ en kPa,}$$

Siendo H_x función del método de verificación adoptado. En el *método simplificado* se considera una única ola definida como $H_x = H_{max} = 1.8 \cdot H_m$, siendo H_m la altura de ola significativa obtenida en la generación y un T igual al T_p asociado al estado de mar generado. En el *método completo* se realiza la descomposición del estado en olas individuales y $H_x = H_{sec}$, $T = T_{sec}$ son las alturas de ola y periodos de las olas individuales seleccionadas (H_{sec} , T_{sec}) de cada uno de los estados, varias

en un estado tal y como se describe a continuación, g es la aceleración de la gravedad, 9.81 m/s^2 , y los coeficientes α_1 , α_2 y α_3 vienen dados por:

$$\alpha_1 = 0.6 + 0.5 \left(\frac{\frac{4\pi h}{L_{Tx}}}{\sinh\left(\frac{4\pi h}{L_{Tx}}\right)} \right)^2$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ \left[\left(\frac{h_b - d}{3 h_b} \right) \cdot \left(\frac{H_x}{d} \right)^2 \right], \left[\frac{2d}{H_x} \right] \right\},$$

donde h_b es la profundidad del agua a una distancia de $5 \cdot H_{m0}$ a barlomar del dique:

$$h_b = h + (5 \cdot H_{m0} \cdot \tan\theta).$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h_p}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi h}{L_{Tx}}\right)} \right]$$

Las presiones anteriores no cambian a pesar de que haya rebase.

La subpresión ejercida bajo la cara expuesta de la estructura viene dada por la siguiente expresión, suponiéndose que no se ve afectada por la existencia o no de rebase.

$$P_u = 0.5 (1 + \cos\beta) \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_3 \cdot w_0 \cdot g \cdot H_x$$

- Presión total de las olas, P , y su momento, M_p .

$$P = 0.5 \cdot (p_1 + p_3) \cdot h_p + 0.5 \cdot (p_1 + p_4) \cdot h_c^*$$

$$M_p = \frac{1}{6} \cdot (2p_1 + p_3) \cdot h_p^2 + 0.5 \cdot (p_1 + p_4) \cdot h_p \cdot h_c^* + \frac{1}{6} (p_1 + 2p_4) (h_c^*)^2, \text{ siendo}$$

$$p_4 = p_1 \cdot \left(1 - \frac{h_c}{\eta} \right) \text{ si } \eta > h_c \quad \text{ó} \quad p_4 = 0 \text{ si } \eta \leq h_c \quad \text{y} \quad h_c^* = \min\{\eta, h_c\}$$

donde

$$\eta = 0.75 \cdot (1 + \cos(\beta)) \cdot H_x$$

es la elevación sobre el nivel del mar a la que se ejerce la presión de las olas (sobreelevación) y H_x la altura de ola individual de la serie (en la aproximación completa) o la altura máxima en la aproximación simplificada

- Supresión total, U , y momento, M_u , son:

$$U = 0.5 \cdot P_u \cdot B \text{ (en kN/m)}$$

$$M_u = \frac{2}{3} \cdot U \cdot B \text{ (en kN}\cdot\text{m/m)}.$$

El peso del cajón del dique vertical por metro lineal, en t/m , W , es:

$$W = W_a - (w_0 \cdot B \cdot h_p),$$

donde $W_a = 3831.965 \text{ (t/m)}$ es el peso en seco del cajón, su espaldón y la superestructura.

- Coeficiente de seguridad frente al deslizamiento (CD):

$$CD = \frac{\mu (W - U)}{P},$$

donde W es el peso del cajón en el agua y μ el coeficiente de rozamiento (como aconseja Goda se toma $\mu=0.6$).

- Coeficiente de seguridad frente al vuelco (CV):

$$CV = \frac{(W \cdot t - M_u)}{M_p},$$

donde $t = B/2$ es la distancia horizontal entre el centro de gravedad y el talón de la sección frontal (B es la anchura de la sección frontal en m).

- Cálculo de la presión impulsiva:

La presión impulsiva se produce cuando una ola incidente cuyo frente es prácticamente vertical comienza a romper frente a la pared. Esta situación ocurre cuando la relación entre la profundidad del cajón, d , y la correspondiente al fondo en la zona del dique, h , es $d/h < 0.7$. La magnitud de dicha presión impulsiva puede estimarse con la aproximación propuesta por ⁸⁾Takahashi (1992). En el dique que nos ocupa, d/h es del orden de 0.647, por tanto, se debe estudiar la presión impulsiva.

El objetivo es reescribir la fórmula de p_1 incluyendo el término de la presión impulsiva en el coeficiente α_2 .

$$p_{1_impulsiva} = 0.5 (1 + \cos\beta)(\alpha_1 + \alpha^* \cos^2 \beta) \cdot w_0 \cdot g \cdot H_x,$$

con H_x función de la aproximación utilizada en la verificación $H_x = H_{max}$, o $H_x = H_{sec}$

$\alpha^* = \max\{\alpha_2, \alpha_1\}$

y α_1 es el coeficiente asociado a las presiones impulsivas, que se define:

$$\alpha_1 = \alpha_1 H \cdot \alpha_1 B.$$

Para calcular $\alpha_1 H$ y $\alpha_1 B$ es necesario el dato del ancho de la banqueta del dique, B_m . También se requiere conocer la longitud de onda a la profundidad h . Para hallarla se resuelve de forma recurrente la siguiente ecuación considerando como valor inicial el valor medio de la longitud de onda calculada con la aproximación para aguas profundas:

$$L_0 \cdot \tanh\left(\frac{2\pi h}{L_x}\right) = L_x,$$

siendo L_0 la longitud de onda calculada con la aproximación para aguas profundas y L_x , función de la aproximación utilizada en la verificación, la longitud de onda a la profundidad h , asociada al periodo de pico, $L_x = L_p$ en la aproximación simplificada, y la correspondiente a los periodos seleccionados en la serie de olas individuales generadas.

⁸⁾Takahashi et al (1992) Experimental study of impulsive pressures of composite breakwaters. Rep. Pot Harbour Res. Ins., 31, 25

Una vez conocidos los datos anteriores, los coeficientes α_1H y α_1B se obtienen a partir del siguiente conjunto de ecuaciones:

$$\alpha_1H = \min \left\{ \frac{H_x}{d}, 2 \right\}$$

$$\alpha_1B = \begin{cases} \cos \delta_2 / \cosh \delta_1 & \text{si } \delta_2 \leq 0 \\ 1 / (\cosh \delta_1 \cosh^{1/2} \delta_2) & \text{si } \delta_2 > 0 \end{cases}$$

$$\delta_1 = \begin{cases} 20\delta_{11} & \text{si } \delta_{11} \leq 0 \\ 15\delta_{11} & \text{si } \delta_{11} > 0 \end{cases}$$

$$\delta_{11} = 0.93 \cdot \left(\frac{B_m}{L_x} - 0.12 \right) + 0.36 \left(0.4 - \frac{d}{h} \right)$$

$$\delta_2 = \begin{cases} 4.9\delta_{22} & \text{si } \delta_{22} \leq 0 \\ 3.0\delta_{22} & \text{si } \delta_{22} > 0 \end{cases}$$

$$\delta_{22} = -0.36 \cdot \left(\frac{B_m}{L_x} - 0.12 \right) + 0.93 \left(0.4 - \frac{d}{h} \right)$$

En los casos donde la presión $p_{1_impulsiva}$ sea mayor que p_1 , se reescriben el resto de presiones en las que interviene p_1 y M_p sustituyendo p_1 por $p_{1_impulsiva}$. Después se recalculan los coeficientes de seguridad de deslizamiento y vuelco y las probabilidades de fallo.

Cálculo del peso de la escollera de la banquetta

El manto principal de escollera que protege a la banquetta debe tener suficiente peso para soportar la presión de la ola. ⁹⁾Tanimoto et al proponen una fórmula tipo Hudson para calcular el peso mínimo, M , de estas piezas de escollera:

$$M = \frac{\rho_r}{(N_s)^3 (S_r - 1)^3} (H_{m0})^3,$$

donde ρ_r es la densidad de las piezas de escollera, H_{m0} es la altura significativa, S_r es la relación entre ρ_r y el peso específico del agua, w_0 , 1.025 t/m³, y N_s es el número de estabilidad, cuyo valor depende de las condiciones del clima, las dimensiones y la forma de la escollera.

Para el cálculo del peso mínimo de escollera requerida para proteger la banquetta se considera que las olas inciden de forma normal en la estructura. Si la incidencia fuera oblicua habría que usar las fórmulas de ¹⁰⁾Kimura.

Para obtener el número de estabilidad, N_s , es necesario calcular la longitud de onda a profundidad h_p (profundidad a la que está colocada la escollera). Para hallarla se resuelve de forma recurrente la siguiente ecuación:

$$L_0 \cdot \tanh \left(\frac{2\pi h_p}{L_x} \right) = L_x \quad \text{siendo } L_0 = (9.81 \cdot (T_p)^2) / 2\pi.$$

⁹⁾ Tanimoto et al (1982) Irregular wave test for composite breakwater foundation- Proceeding 18th International Conf. in Coastal Engineering, South Africa

N_s viene dado por:

$$N_s = \max \left\{ 1.8, \left(1.3 \cdot \frac{1 - \kappa}{\kappa^{1/3}} \cdot \frac{h_p}{H_{m0}} + 1.8 \cdot \exp \left[-1.5 \cdot \frac{(1 - \kappa)^2}{\kappa^{1/3}} \cdot \frac{h_p}{H_{m0}} \right] \right) \right\},$$

donde

$$\kappa = \frac{(4\pi h_p)/x}{\sinh \left[\frac{4\pi h_p}{L_x} \right]} \cdot \text{sen}^2 \left(\frac{2\pi Bm}{L_x} \right).$$

I) VERIFICACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO

Como se indicó, la verificación del diseño inicial se ha efectuado con dos aproximaciones cuya diferencia radica en la consideración, o no, de la descomposición del estado representativo del ciclo de sollicitación en olas individuales tal y como se describe a continuación. En ambos casos los temporales se generan a partir de cópulas bivariadas.

Método Simplificado

En el método simplificado no se aborda la descomposición de los estados en olas individuales, considerándose para cada estado una única ola caracterizada por una altura

$$H_x = 1.8 \cdot H_{m0}$$

y un periodo establecido como:

$$T_x = 1.4 \cdot T_{m02}$$

Método Completo.

En este método la generación de las series de olas se realiza, en términos escalares, a partir del espectro JONSWAP cuya expresión es la siguiente:

$$S_j(f) = \frac{A}{f^5} e^{\frac{B}{f^4}} \gamma e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{f-f_p}{\sigma_0 f_p} \right)^2}$$

donde f es la frecuencia, f_p la frecuencia correspondiente al pico del espectro, calculado en función del T_{m02} , y A , B coeficientes. Como factor de apuntamiento se ha asumido $\gamma = 3.3$ y el parámetro σ_0 toma los valores:

$$\sigma_0 = \begin{cases} 0.07 & \text{si } f \leq f_p \\ 0.09 & \text{si } f > f_p \end{cases}$$

El parámetro A se halla ajustando la energía del espectro teórico a la energía real.

Una vez definido el espectro de energía S_j , se obtiene un espectro complejo discreto de amplitudes en un formato adecuado para su transformación al dominio del tiempo, empleándose el método *DSA (Deterministic Spectral Amplitude)* para la generación de olas individuales. Otros métodos de generación de series aleatorias son igualmente aplicables.

Para reducir el tiempo de cálculo de la verificación de la estructura sin pérdida de representatividad, los periodos de cada una de las series olas individuales, se agrupan en intervalos de 0.5s y para cada uno de estos periodos se escoge su altura máxima, H_{g_max} . Después se recupera el período original asociado a dicha H_{g_max} y esos pares de valores (H_{g_max} , T_{Hg_max}) son los utilizados en la verificación. Esta simplificación, que asume que para un mismo periodo la peor ola es la de mayor altura, reduce apreciablemente el tiempo de computación.

◇ *Ecuación de verificación*

En ambas aproximaciones las ecuaciones de verificación empleadas son las referidas en el método de Goda (1982) efectuándose la corrección por las fuerzas impulsivas propuestas por Takahashi (1992).

Los valores de las variables estructurales y climáticas de esta ecuación se resumen en las tablas 3.2.a y 3.2.b, respectivamente.

En ambas aproximaciones, en las ecuaciones de verificación, tanto del vuelco como del deslizamiento, se asume que se produce fallo si el valor resultante de la generación de muestras es igual o inferior al coeficiente de seguridad, CS , referido en la tabla 4.7.2 de la ROM 0.5-05 para estos modos de fallo de diques verticales, $CS=1.3$.

Tabla 3.2a. Valores de las variables estructurales del cajón

VARIABLES ESTRUCTURA	FD. Normal		determinista	OBSEVACIONES
	μ	σ	Valor	
tg α	0.015	0.002		Talud fondo [μ (Diseño), σ (Subjetivo)]
B	53.750	0.400		Ancho cajón (m) [μ (Diseño), σ (Subjetivo)]
h	--		35	profundidad desde el fondo (m)
d			21	profundidad desde cimentación cajón (m)
h_p			24	profundidad desde cota cimentación cajón (m)
h_c			20	Cota de coronación del francobordo (m)
B_m			9	Anchura berma coronación (m)

Tabla 3.2.b. Valores de las variables climáticas y oceanográficas

VARIABLES	MARGINALES FD WEIBULL			CONJUNTA	OBLCUIDAD
CLIMÁTICAS	A	B	C	δ	
H_{m0}	5.033	0.807	1.092	1.812	0°
T_{m02}	7.381	2.090	1.877		
$T_p=a+bT_{m02}$	a	b	--		
	0	1.4			
OCEANOGRÁFICAS	μ	σ	--		
NM	4.880	0.200			

◇ *Probabilidad de Fallo*

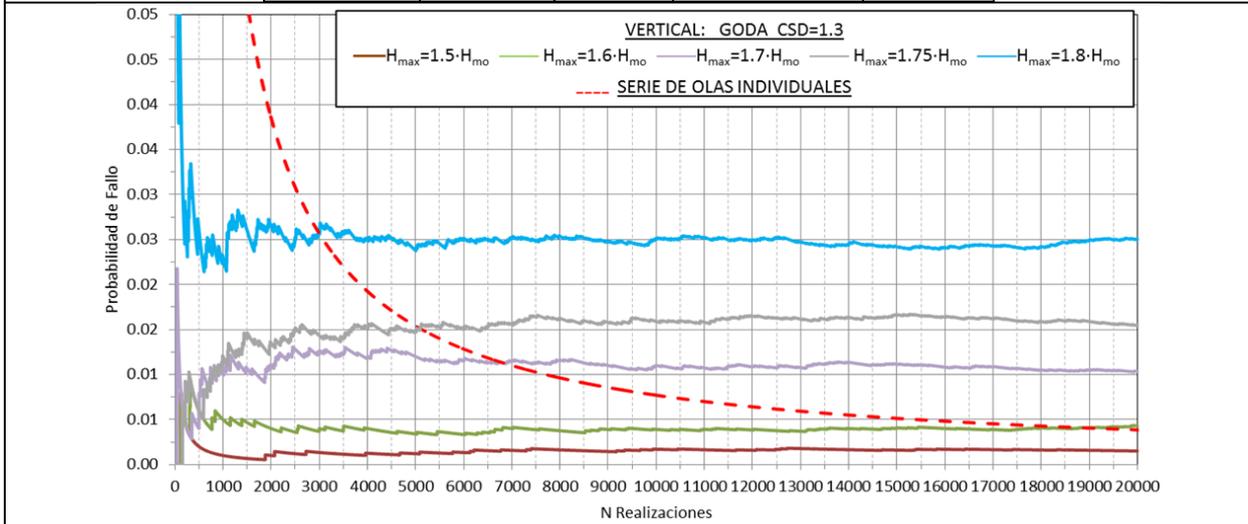
En el método completo la verificación del conjunto de olas individuales que conforman un estado se interrumpe en el momento que se produce un fallo, pasándose a analizar el conjunto de olas asociado a otro estado.

Con el fin de evaluar la sensibilidad de la probabilidad de fallo al coeficiente determinista considerado en el método simplificado, se han considerado distintas relaciones entre H_{m0} y H_{max} , $H_{m0} = x H_{max}$ con $x=1.5, 1.6, 1.7, 1.75$ y 1.8 .

Los resultados obtenidos concluida la simulación se detallan en la tabla 3.2.c, incluyéndose en forma gráfica la evolución de la convergencia.

Tabla 3.2.c. Probabilidad de Vuelco y Deslizamiento

	ECUACIÓN VERIFICACIÓN	MÉTODO	Nº Casos	$H_{max}=b \cdot H_{m0}$ b	Pf
	GODA	Simplificado		20000	1.50
1.60					0.00430
1.70					0.01035
1.75					0.01550
1.80					0.02500
Completo			Olas individuales	0.00400	



La representación de la probabilidad de fallo obtenida en cada aproximación frente al factor determinista empleado para la determinación de H_{max} sigue una ley exponencial y la probabilidad de fallo resultante de la verificación con el método completo es ligeramente inferior a la obtenida en el método simplificado considerando un factor de 1.6. Este resultado es coherente con la relación entre las alturas de ola significantes y máximas obtenidas, en términos escalares, de una boya de medida próxima a la zona de proyecto (ver figura 3.6).

Otro hecho a destacar es la velocidad de convergencia de la probabilidad de fallo requiriéndose muchos más experimentos en el método completo que en el simplificado.

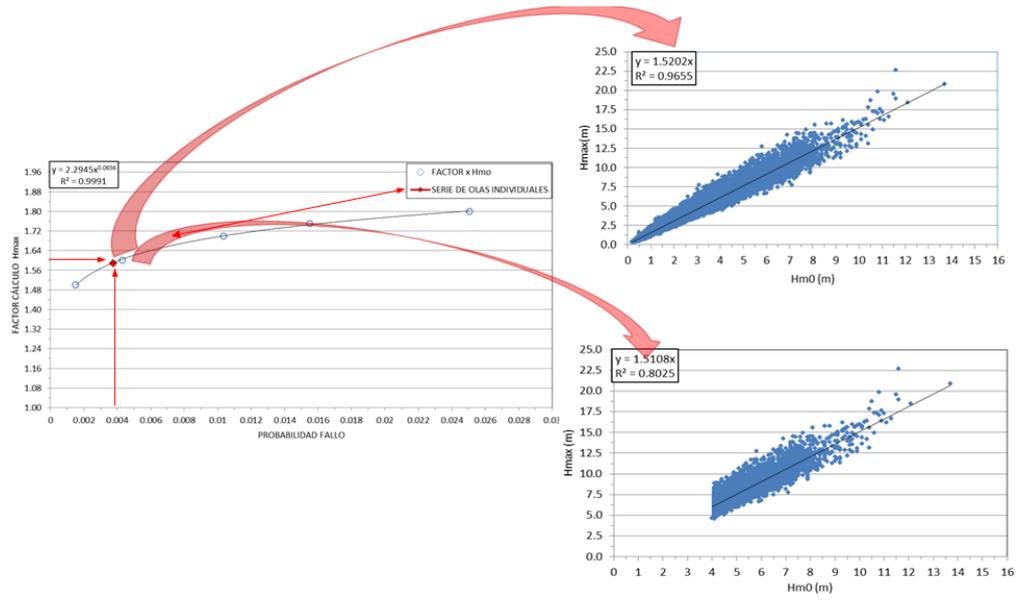


Figura 3.6 Relación ente Probabilidad de fallo y el factor de proporcionalidad entre H_{m0} y H_{max}

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ-FANJUL, E., ALFONSO, M., RUIZ, M. I., LOPEZ, J. D., AND RODRIGUEZ, I. (2003). Real time monitoring of Spanish coastal waters: the deep water network. Elsevier Oceanogr. Ser. 69, 398–402. doi: 10.1016/S0422-9894(03)80066-1

BOCCOTTI, P., (1989). On Mechanics of Irregular Gravity Waves. Accademia Nazionale dei Lincei, 19.

BOCCOTTI, P., (2000). Wave Mechanics for Ocean Engineering. Elsevier Science, Oxford

BOCCOTTI, P., ARENA, F., FIAMMA, V., (2013). Distributions of Wave Heights in Time Domain in Stationary Sea States. J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng. 139, 147-156.

CORBELLA, S., STRETCH, D.D., (2012). "Multivariate return periods of sea storms for coastal erosion risk assessment. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 12, 2699-2708.

DE MICHELE, C., SALVADORI, G., PASSONI, G., VEZZOLI, R., (2007). "A multivariate model of sea storms using copulas. Coast. Eng. 54, 734-751.

FEDELE, F., ARENA, F., (2009). "The equivalent power storm model for long-term predictions of extreme wave events. Proc. of the 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE 2009), American Society of Mechanical Engineers (ASME).

GODA, Y., (1985). Random seas and design of maritime Structures. Univ. Tokyo press.

GOMEZ LAHOZ, M., CARRETERO ALBIACH, J. C. (2005). Wave forecasting at the Spanish coasts. Journal of Atmospheric & Ocean Science, 10:4, 389-405, DOI: 10.1080/17417530601127522

JOE, H. (1997). Multivariate Models and Dependence Concepts. Chapman and Hall. M-73

MARTÍN-HIDALGO, M., MARTÍN-SOLDEVILLA, M.J., NEGRO, V., ABERTURAS, P., LÓPEZ-GUTIÉRREZ, J.S., (2014). "Storm evolution characterization for analysing stone armour damage progression". Coast. Eng. 85, 1-11.

MARTÍN-SOLDEVILLA, M.J., MARTÍN-HIDALGO, M., NEGRO, V., ABERTURAS, (2015). "Improvement of theoretical storm characterization for different climate conditions". Coast. Eng. 96, 71-80.

MITSUYASU, H et al (1975) Observation of directional spectrum of ocean waves using a cloverleaf buoy, J. Phy. Oceanogr. 5, 4, 750-760

MELBY, J.A., KOBAYASHI, N., 2011. "Stone Armor Damage Initiation and Progression Based on the Maximum Wave Momentum. Flux. J. Coast. Res. 27, 110-119.

PIANC, (1992). "Analysis of rubble mound breakwaters"; report of working group 12 (PTC II)

PUERTOS DEL ESTADO, (1990) Recomendaciones para Obras Marítimas. ROM 0.2-90 Acciones en Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias.

PUERTOS DEL ESTADO, (2005) Recomendaciones para Obras Marítimas. ROM 0.5-05. Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias.

PUERTOS DEL ESTADO, (2000). "ROM 0.0-01 Recomendaciones para Obras Marítimas. Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias. Parte I

PUERTOS DEL ESTADO, (2009). Recomendaciones para Obras Marítimas. ROM 1.0-09 Recomendaciones de diseño y ejecución de Obras de Abrigo (Parte 1ª. Bases y Factores para el proyecto. Agentes Climáticos).

Símbología

Las abreviaturas y símbolos utilizados en esta guía se detallan a continuación:

a) Latinos

A	Parámetro de posición de la distribución de Weibul
$A_{H_{m0}}$	Parámetro de posición de la distribución de Weibull de H_{m0}
$A_{T_{m02}}$	Parámetro de posición de la distribución de Weibull de T_{m02}
$A_{\sigma H_{m0}}$	Parámetro de correlación entre la desviación típica de la altura de retorno y el periodo retorno
B	Parámetro de escala de la distribución de Weibul
$B_{H_{m0}}$	Parámetro de escala de la distribución de Weibull de H_{m0}
$B_{T_{m02}}$	Parámetro de escala de la distribución de Weibull de T_{m02}
$B_{\sigma H_{m0}}$	Parámetro de correlación entre la desviación típica de la altura de retorno y el periodo retorno
b_M	Parámetro de la relación entre la altura de ola significativa de retorno y la magnitud más probable
C	Parámetro de forma de la distribución de Weibul
$C_{H_{m0}}$	Parámetro de forma de la distribución de Weibull de H_{m0}
$C_{T_{m02}}$	Parámetro de forma de la distribución de Weibull de T_{m02}
$C(u, v, \alpha)$	Función Cópula
D_{REAL}	Duración de la tormenta real
\hat{D}_R	Duración más probable del temporal de retorno (h)
$\hat{D}_{R(x2-x1)}$	Duración más probable de la base superior del patrón teórico del temporal de retorno (h)
ELS	Estados límites de Servicio
ELU	Estados límites Últimos
f	Frecuencia (s^{-1})
$F(x)$	Función de distribución de una variable
$F(y)$	Función de distribución de una variable
f_p	Frecuencia de pico (s^{-1})
$G(f, \theta)$	Función de dispersión angular
$H_{-}(E_{equiv. k, i})$	Altura de ola equivalente de la tormenta teórica i del temporal k (m)
$H_{-}(k, i, j, l)$	Altura de ola i , del temporal k , asociada al periodo j , de la dirección l
$H_{-mo\ tor}$	Umbral de altura de ola significativa de las tormentas (m)
$H_{m0, u}$	Umbral de altura de ola significativa de las tormentas (m) (ROM 1.0-09)
H_{umbral}	Umbral de altura de ola significativa de las tormentas (m)
$H_{-}(moR, k, i)$	Altura significativa de retorno, i , del temporal k
H_{m0}	Altura de ola significativa (m)
H_{m0p}	Altura de ola significativa del pico del temporal (m)
H_{MAX}	Altura de ola máxima (m)
$H_{m0, equiv}$	Altura de ola significativa equivalente (m)
$H_{m0, r}$	Valor representativo de la intensidad de la borrasca (m), ($0.75 H_{smax}$ ROM 1.0-09)
$H_{m0, max}$	Umbral de altura de ola significativa de las tormentas (m) (ROM 1.0-09)
$H_{mo, Real}$	Altura de ola significativa de la tormenta real (m)
H_{moR}	Altura de ola significativa de retorno (m)
H_s	Altura de ola significativa (m) (ROM 1.0-09)
$H_{s, r}$	Valor representativo de la intensidad de la borrasca (m), ($0.75 H_{smax}$ ROM 1.0-09)
H_{su}	Umbral de altura de ola significativa de las tormentas (m) (ROM 1.0-09)
$H_{s, max}$	Umbral de altura de ola significativa de la excedencia (m)
H_{TOR}	Umbral de altura de ola significativa de las tormentas (m)

IRE	Índice de Repercusión Económica
ISA	Índice de Repercusión Socio Ambiental
K	Número de temporales anuales en la vida útil considerados en la simulación
L_v	Variable de carga
L_{Tp}	Longitud de onda del periodo de pico
M	Magnitud de la tormenta teórica
M_{Real}	Magnitud de la tormenta real
\hat{M}_R	Magnitud más probable del temporal de retorno
N	Número de estructuras
N_z	Número de olas
\hat{N}_Z	Número de olas más probable
NzR	Número de olas más probable del temporal de retorno
$P(f,x)$	Probabilidad de fallo
R	Periodo de retorno (años)
R_v	Variable de resistencia
S	Coefficiente de seguridad parcial
S_{MGS}	Espectro direccional del oleaje de Mitsuyasu-Goda_Suzuky
S_{MAX}	Parámetro de dispersión direccional del oleaje de Mitsuyasu-Goda_Suzuky
$S(f)$	Densidad espectral (m^2/s)
$S_j(f)$	Espectro teórico de frecuencia JONSWAP (m^2/s)
$T(k,i,j,l)$	Periodo de ola j , del temporal k , asociado a la altura i , de la dirección l
T_c	Tiempo de separación entre picos (h)
T_{m02}	Periodo medio (s)
$\hat{T}_{m02,R}$	Periodo medio más probable del temporal de retorno R (s)
$T_{m02-MODA}$	Periodo medio más probable asociado a la $H_{m0}(s)$
T_p	Periodo de pico (s)
u	Argumento de la cópula asociada a una de las marginales
v	argumento de la cópula asociada a una de las marginales
V	Vida Útil
\bar{x}_1	Abscisa del primer pico del patrón de tormenta normalizado (valor promedio)
\bar{x}_2	Abscisa del segundo pico del patrón de tormenta normalizado (valor promedio)
\bar{y}_1	Ordenada del primer pico del patrón de tormenta normalizado (valor promedio)
\bar{y}_2	Ordenada del segundo pico del patrón de tormenta normalizado (valor promedio)
Z	Coefficiente de seguridad global

b) Griegos

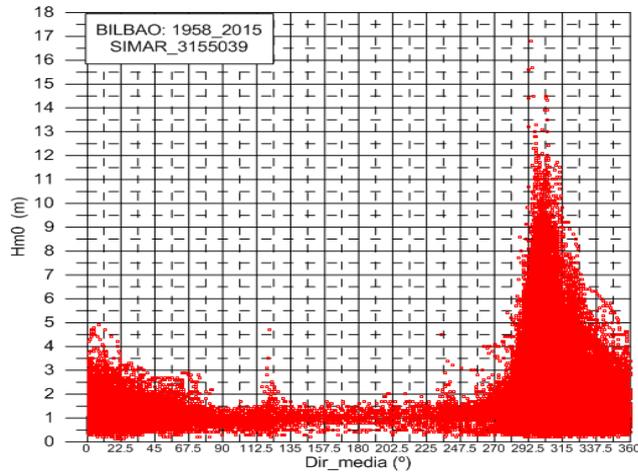
σ	Desviación típica de distribución normal
α	Parámetro de dependencia
λ	Número medio de temporales anuales
δ	Area del patrón de tormenta normalizado
γ_J	Parámetro de apuntamiento del espectro de frecuencia JONSWAP
μ	Media de la distribución normal
θ	Dirección de procedencia (grados)
$\theta_{(l)}$	Dirección de procedencia de la componente (l), $l=1,.. N_z$ de un espectro direccional
σ_{Hm0R}	Dispersión de la variabilidad estadística de la altura de ola significativa de retorno
μ_{Hm0R}	Estimación central de la altura de retorno resultante de la distribución de Weibull
σ_a	Estimación central de la altura de retorno resultante de la distribución de Weibull
σ_b	Parámetro del espectro JONSWAP
σ	Dispersión direccional gaussiana de la dirección
σ_{Hm0R}	Variabilidad estadística de H_{m0} del temporal
σ_{Hm0}	Variabilidad estadística de H_{m0} de la muestra temporal
Δt	Paso de tiempo
τ_{eq}	Duración de la tormenta equivalente
τ_{max}	Duración del valor máximo (ROM 1.0-09)
τ_r	Valor representativo de la duración de la borrasca, ($\approx 0.75\tau_{max}$ ROM 1.0-09)
τ_u	Duración de la excedencia (ROM 1.0-09)

ANEXO 1

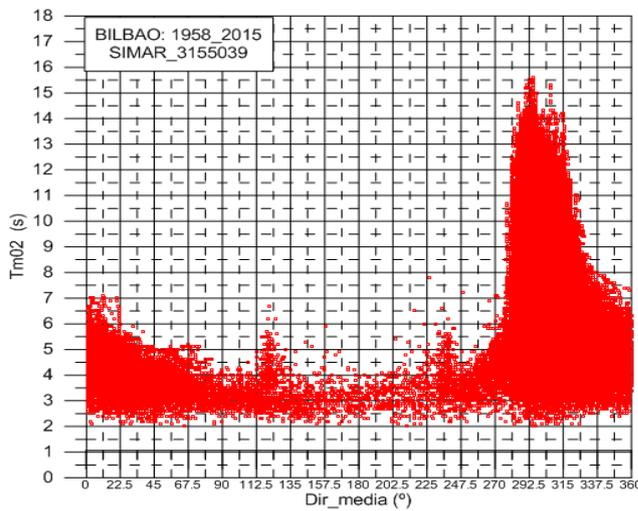
ANÁLISIS DE LA REPRESENTATIVIDAD DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS TORMENTAS

Con el fin de analizar la representatividad de las extrapolaciones realizadas en las diferentes direcciones activas en los emplazamientos de la información analizada se ha comparado la evolución de las alturas de ola y periodos de los datos en las distintas direcciones con la evolución de las correspondientes extrapolaciones considerando los valores de retorno (altura de ola significativa periodo medio concomitante y magnitud asociada) de 25, 50, 100, 200 300 y 500 años. La comparación se presenta, para cada punto, en forma gráfica en las figuras a1 a a.5 para las costas cantábrica y gallega, y en las figuras a.6 a a.12 para la mediterránea y balear. En todos los casos las extrapolaciones siguen la evolución de los datos.

Costa Cantábrica y Gallega



A1



A2

Figura a.1. BILBAO.
 Evolución direccional de:

A: Variables representativas de los temporales de la serie histórica sintética de aguas profundas

A1_ Altura de ola significativa

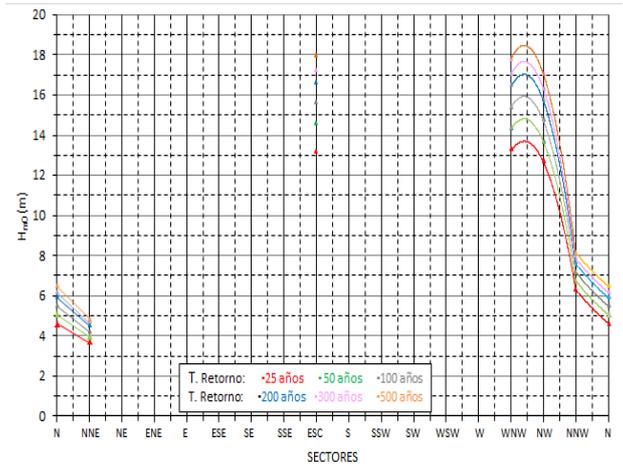
A2_ Periodo medio

B: Valores de retorno estimados de las variables representativas de los temporales

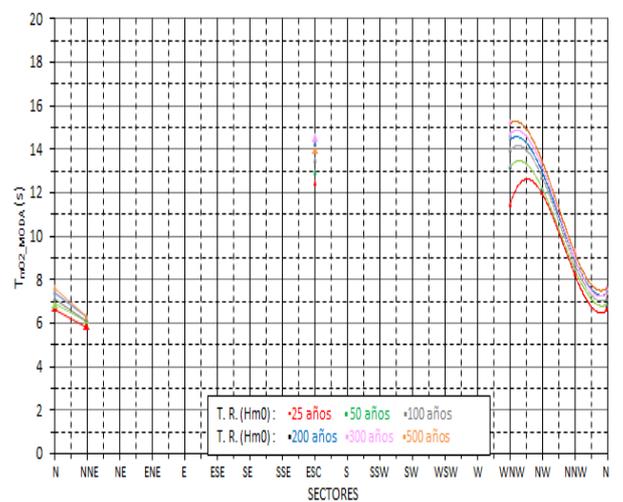
B1_ Altura de ola significativa

B2_ Periodo medio (Moda)

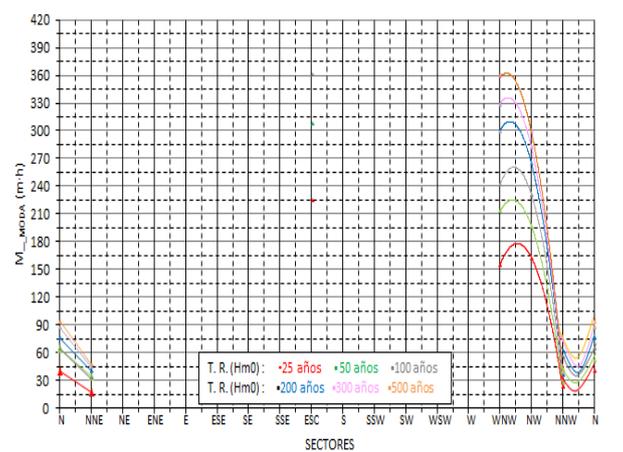
B3_ Magnitud (Moda)



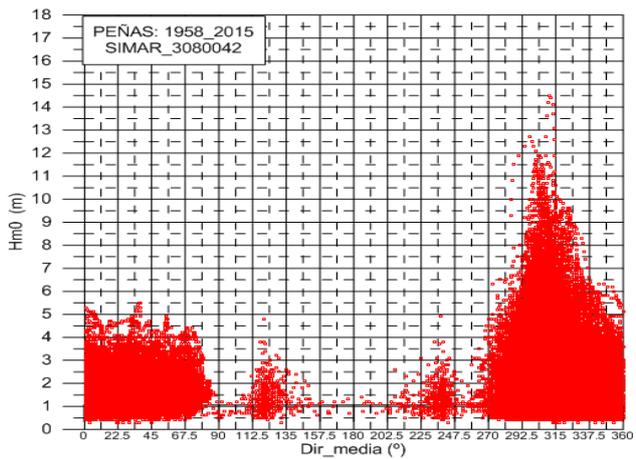
B1



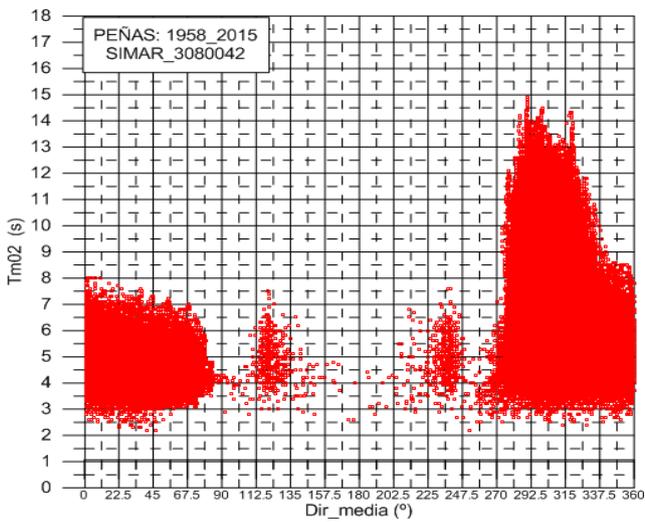
B2



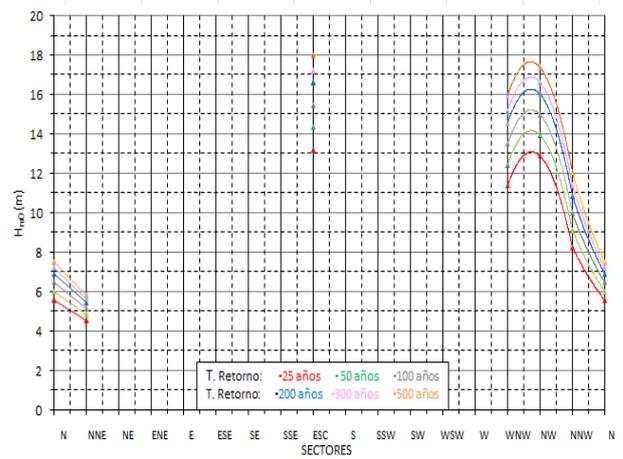
B3



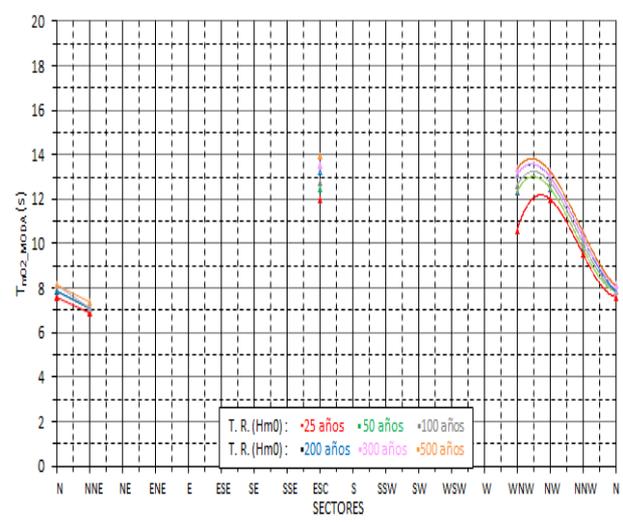
A1



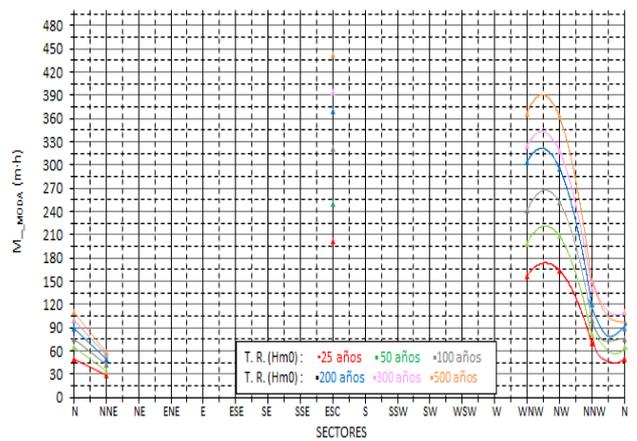
A2



B1



B2



B3

Figura a.2. PEÑAS.
Evolución direccional de:

A: Variables representativas de los temporales de la serie histórica sintética de aguas profundas

A1_ Altura de ola significativa

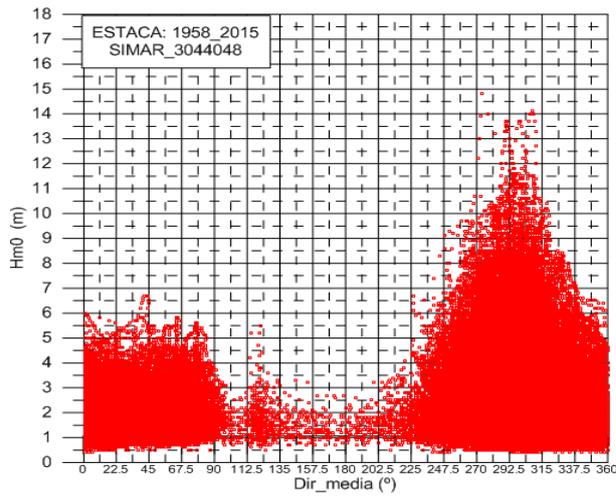
A2_ Periodo medio

B: Valores de retorno estimados de las variables representativas de los temporales

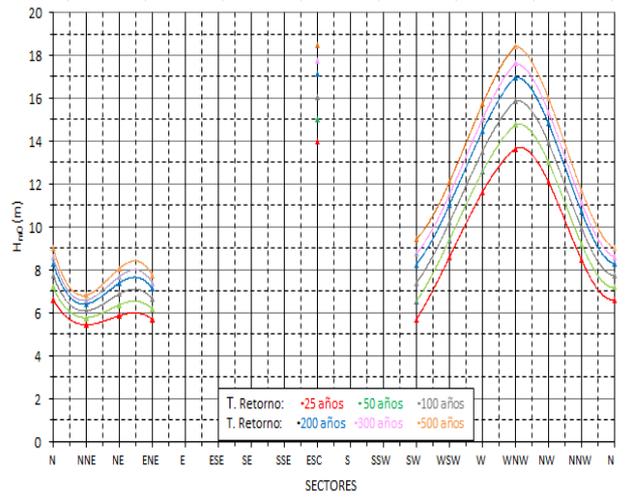
B1_ Altura de ola significativa

B2_ Periodo medio (Moda)

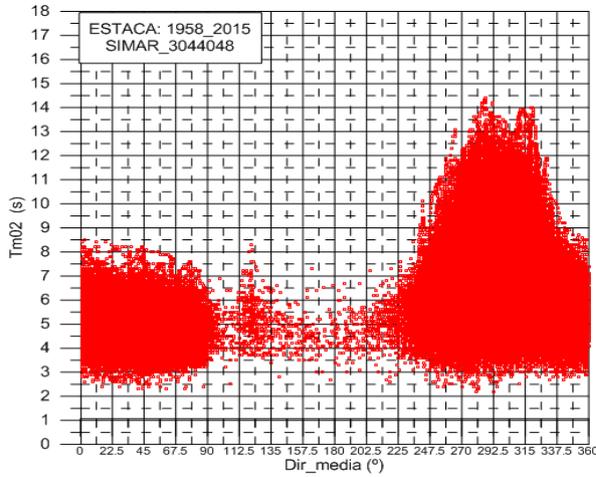
B3_ Magnitud (Moda)



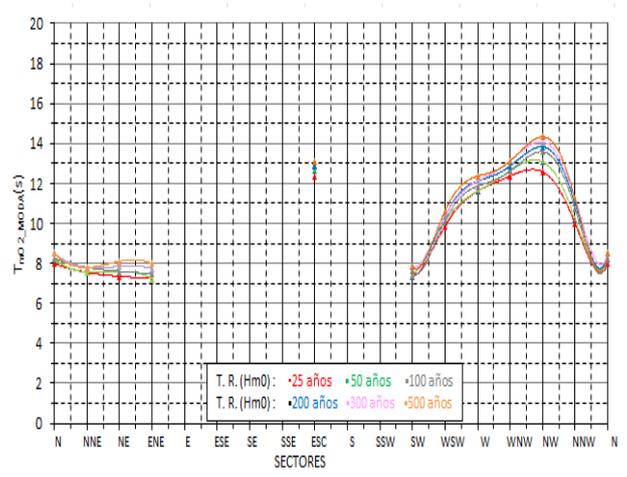
A1



B1



A1



B2

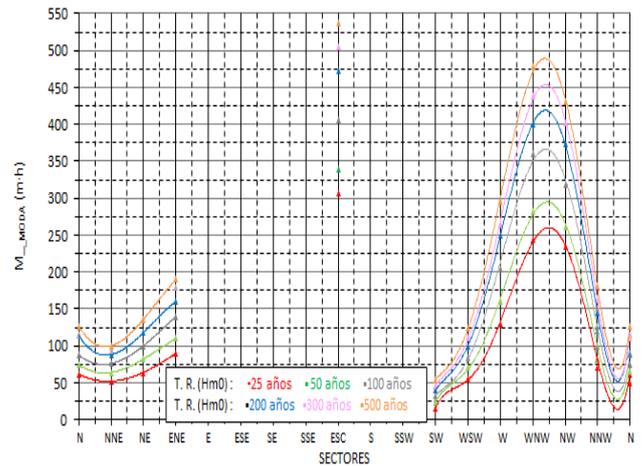
Figura a.3. ESTACA DE BARES.
Evolución direccional de:

A: Variables representativas de los temporales de la serie histórica sintética de aguas profundas

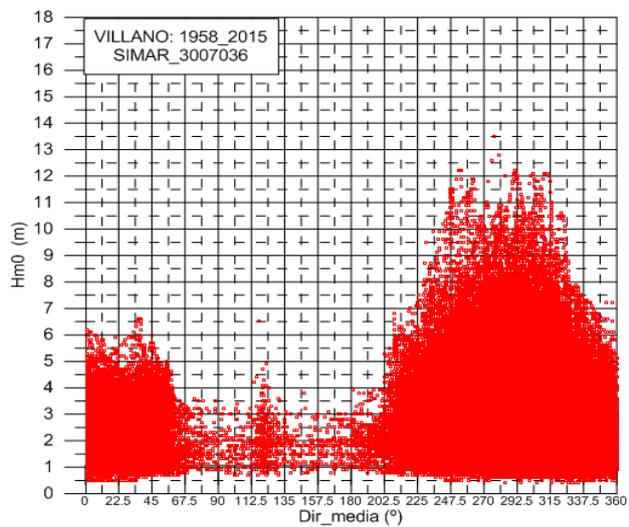
- A1_ Altura de ola significativa
- A2_ Periodo medio

B: Valores de retorno estimados de las variables representativas de los temporales

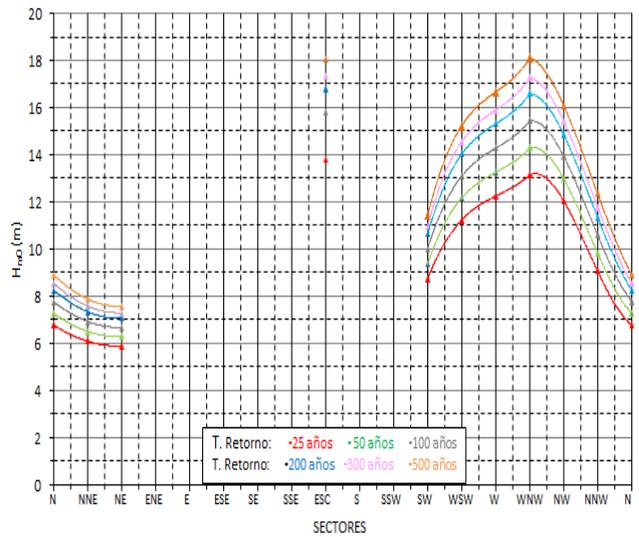
- B1_ Altura de ola significativa
- B2_ Periodo medio (Moda)
- B3_ Magnitud (Moda)



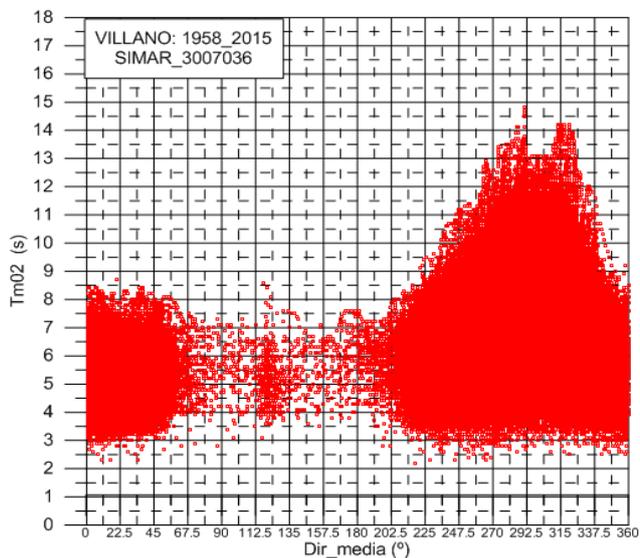
B3



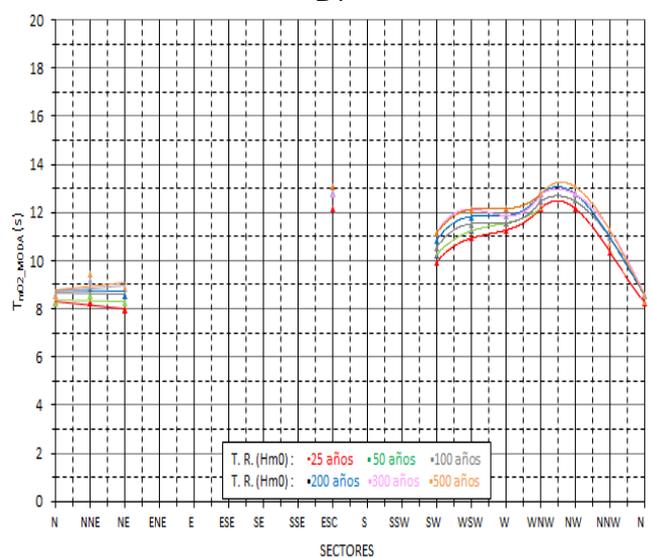
A1



B1



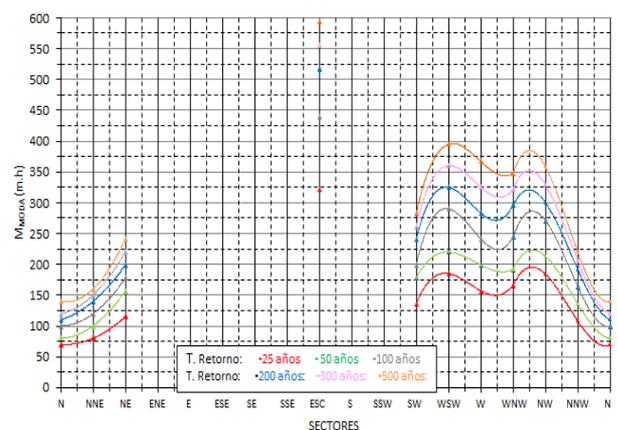
A2



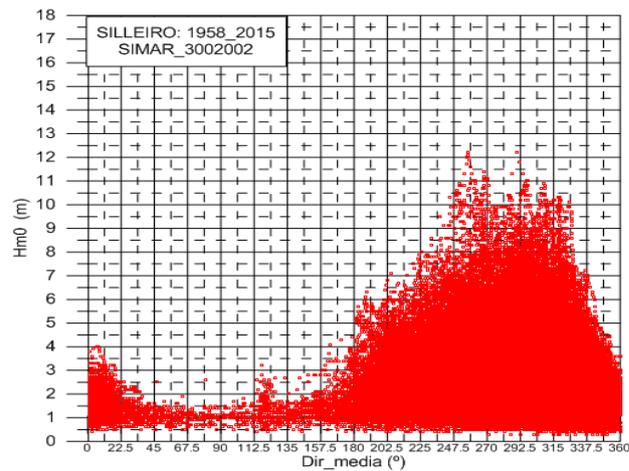
B2

Figura a.4. VILLANO.
Evolución direccional de:

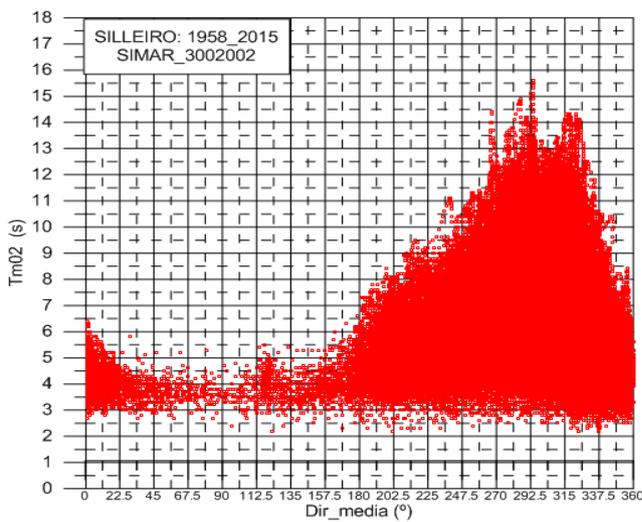
- A: Variables representativas de los temporales de la serie histórica sintética de aguas profundas
 - A1_ Altura de ola significativa
 - A2_ Periodo medio
- B: Valores de retorno estimados de las variables representativas de los temporales
 - B1_ Altura de ola significativa
 - B2_ Periodo medio (Moda)
 - B3_ Magnitud (Moda)



B3



A1



A2

Figura a.5. SILLEIRO.
Evolución direccional de:

A: Variables representativas de los temporales de la serie histórica sintética de aguas profundas

A1_ Altura de ola significativa

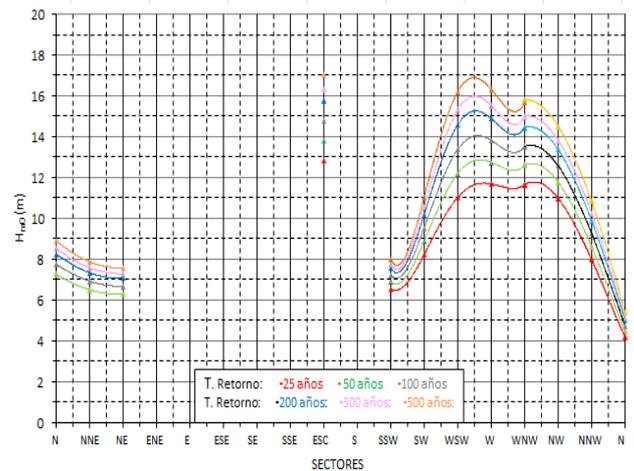
A2_ Periodo medio

B: Valores de retorno estimados de las variables representativas de los temporales

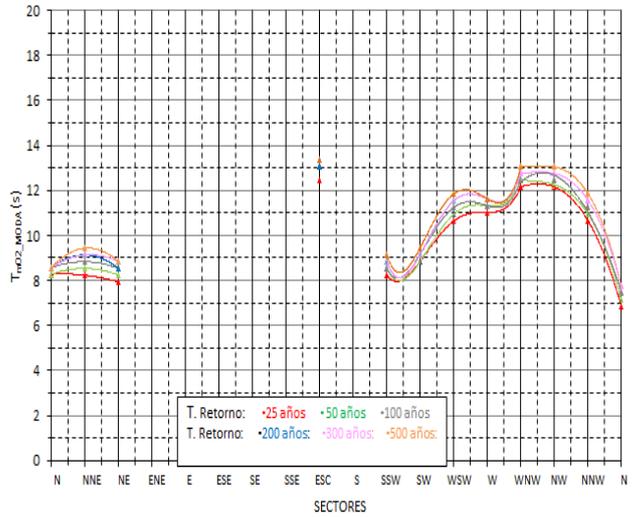
B1_ Altura de ola significativa

B2_ Periodo medio (Moda)

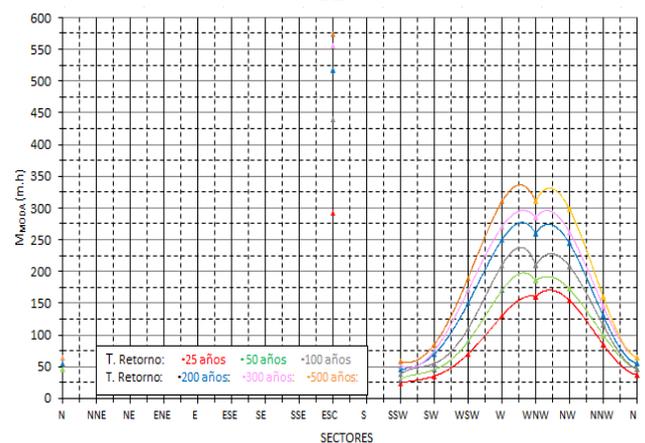
B3_ Magnitud (Moda)



B1

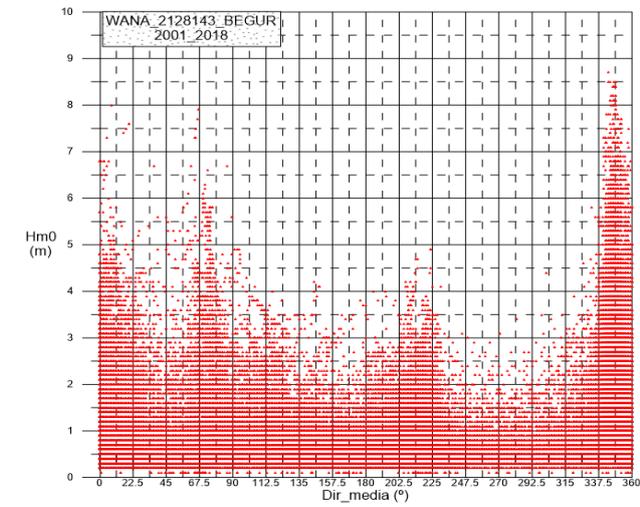


B2

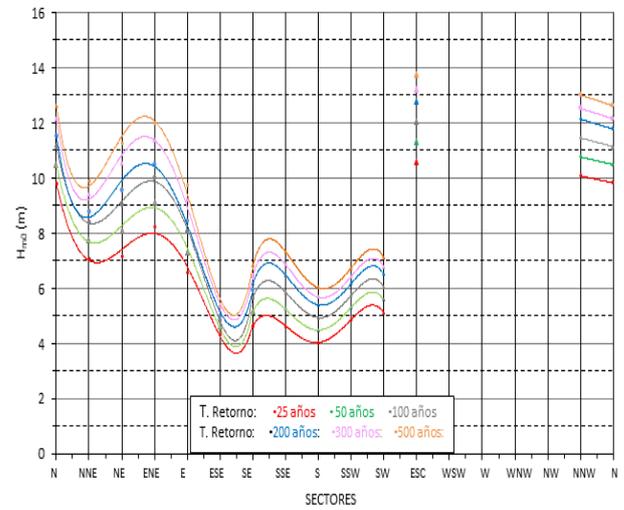


B3

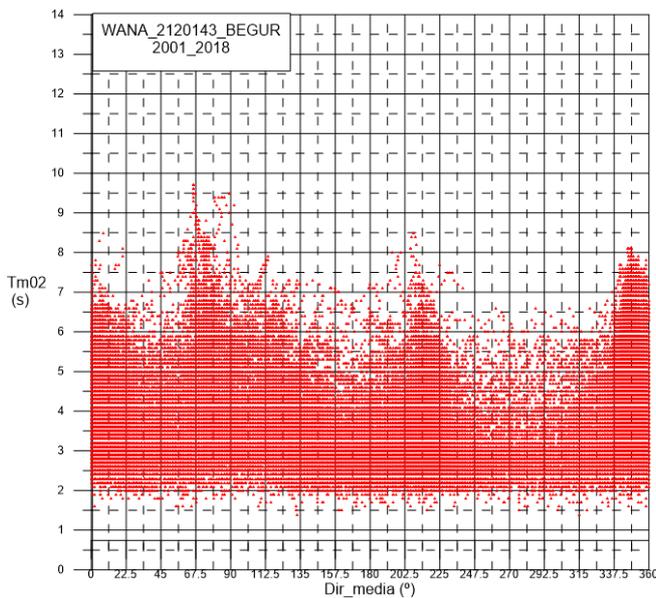
Costa mediterránea y balear



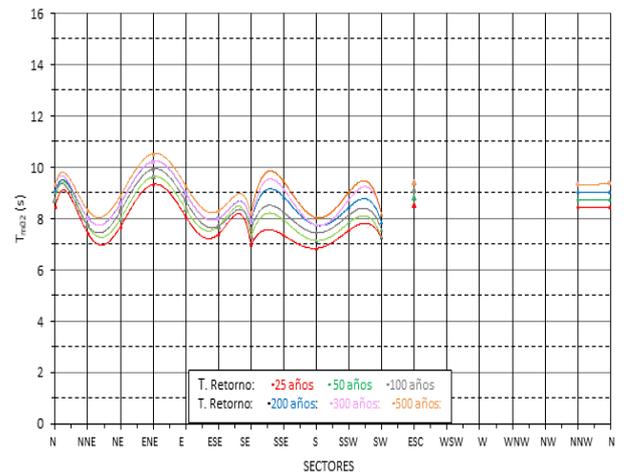
A1



B1



A2



B2

Figura a.6. BEGUR.

Evolución direccional de:

A: Variables representativas de los temporales de la serie histórica sintética de aguas profundas

A1_ Altura de ola significativa

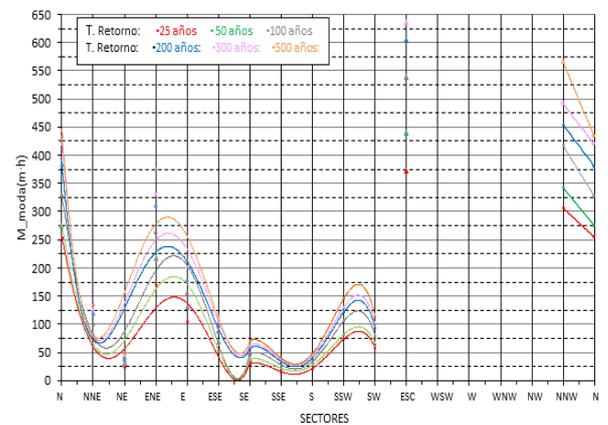
A2_ Periodo medio

B: Valores de retorno estimados de las variables representativas de los temporales

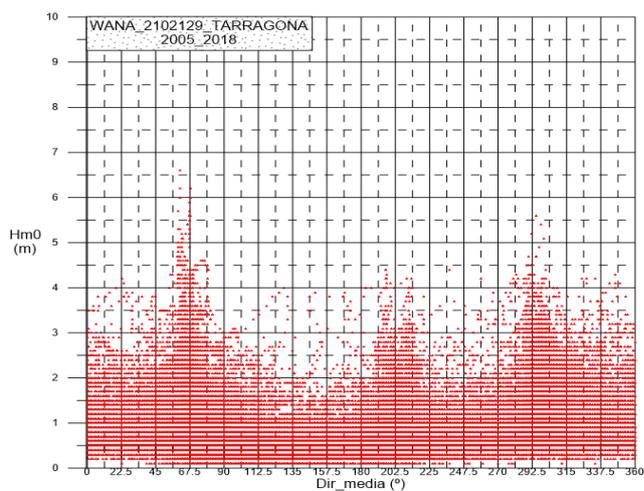
B1_ Altura de ola significativa

B2_ Periodo medio (Moda)

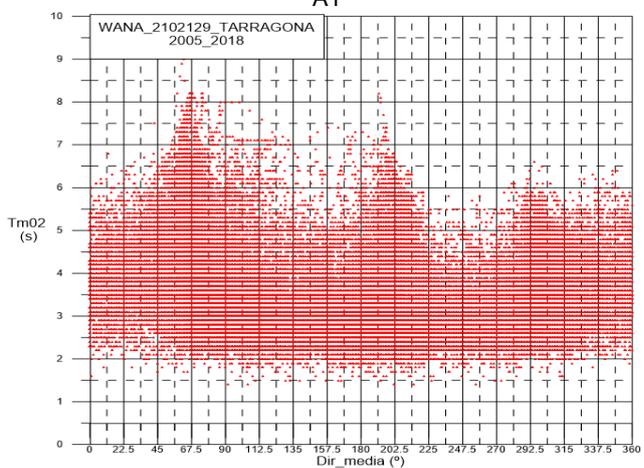
B3_ Magnitud (Moda)



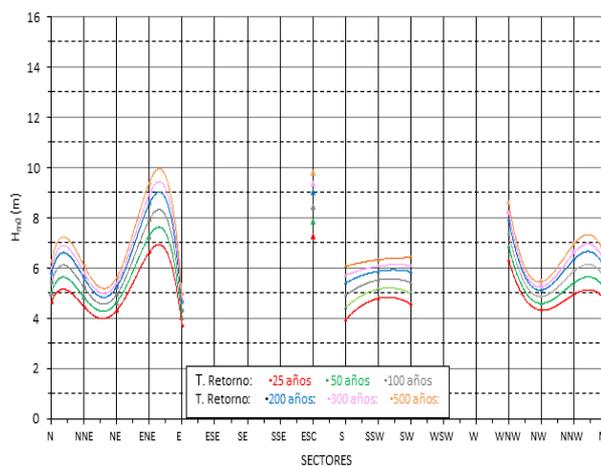
B3



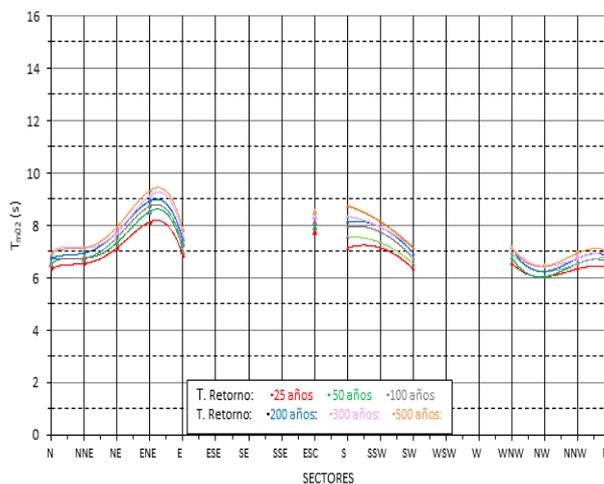
A1



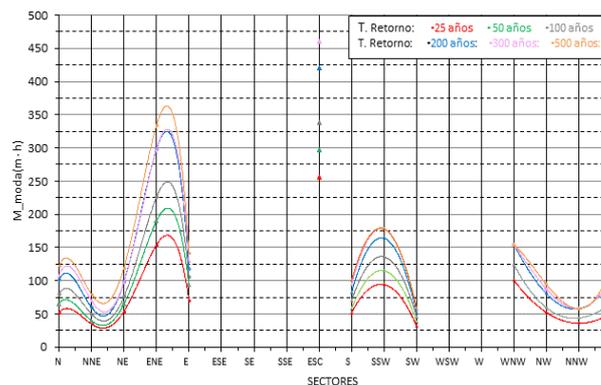
A2



B1



B2



B3

Figura a.7. TARRAGONA
Evolución direccional de:

A: Variables representativas de los temporales de la serie histórica sintética de aguas profundas

A1_ Altura de ola significativa

A2_ Periodo medio

B: Valores de retorno estimados de las variables representativas de los temporales

B1_ Altura de ola significativa

B2_ Periodo medio (Moda)

B3_ Magnitud (Moda)

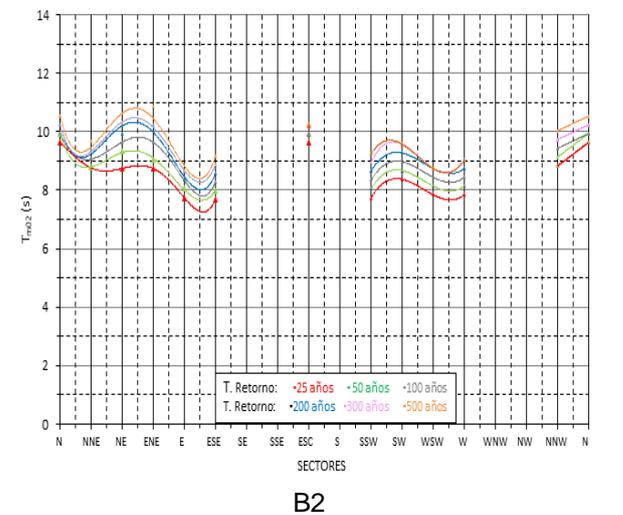
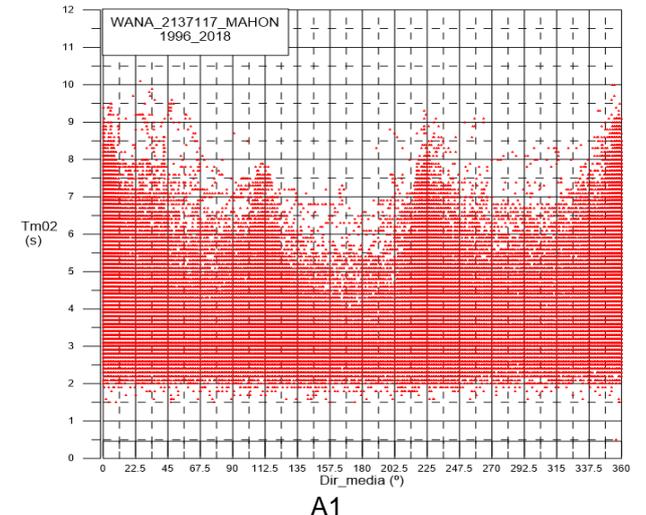
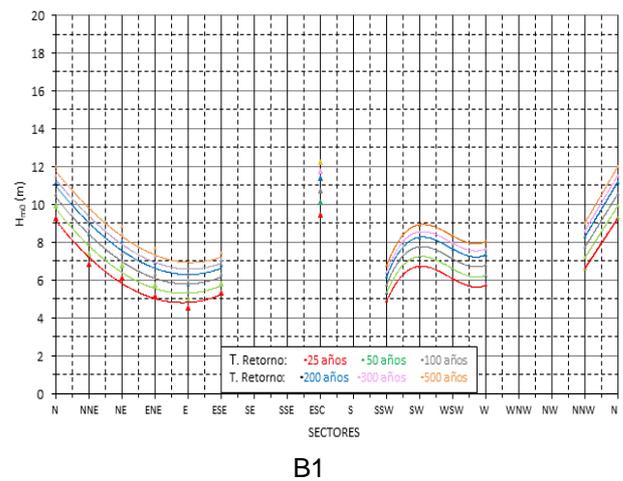
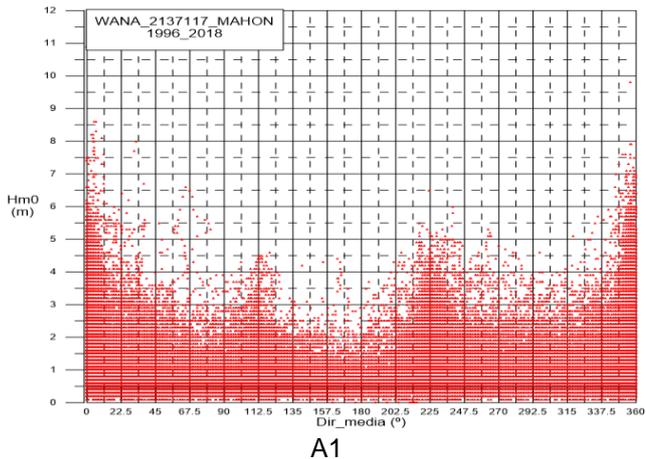
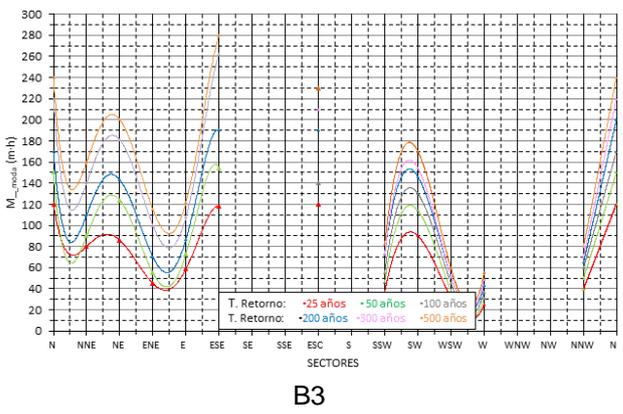
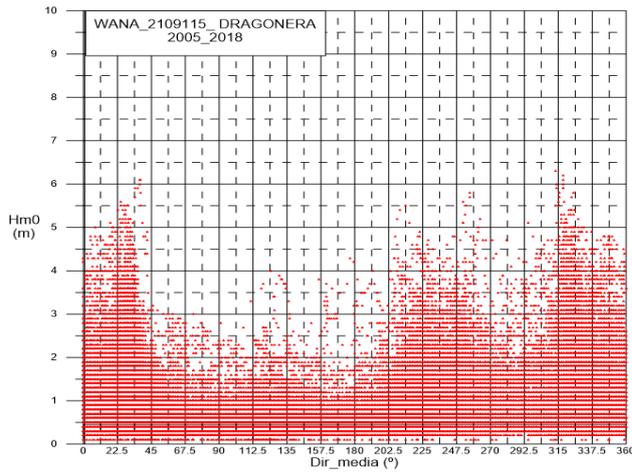


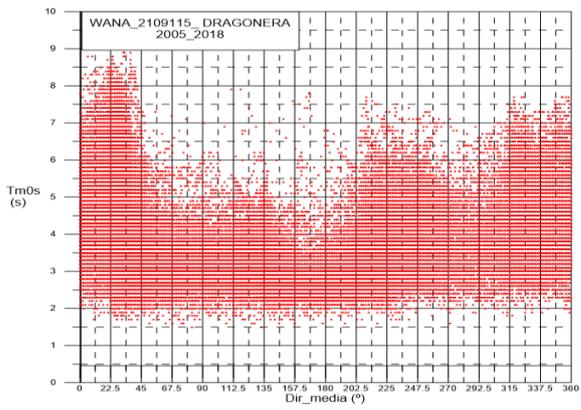
Figura a.8. MAHÓN
Evolución direccional de:

- A: Variables representativas de los temporales de la serie histórica sintética de aguas profundas
 - A1_ Altura de ola significativa
 - A2_ Periodo medio
- B: Valores de retorno estimados de las variables representativas de los temporales
 - B1_ Altura de ola significativa
 - B2_ Periodo medio (Moda)
 - B3_ Magnitud (Moda)

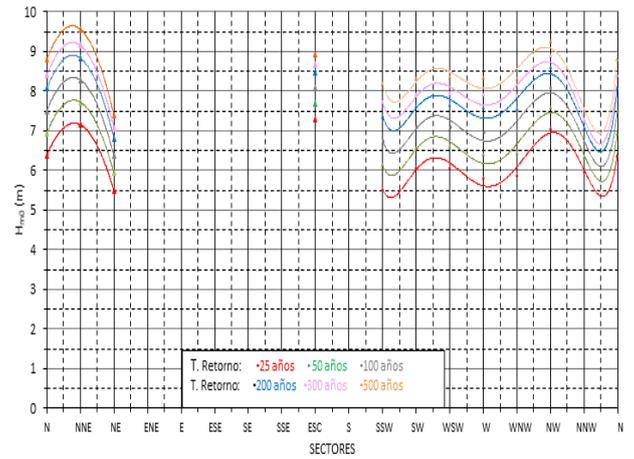




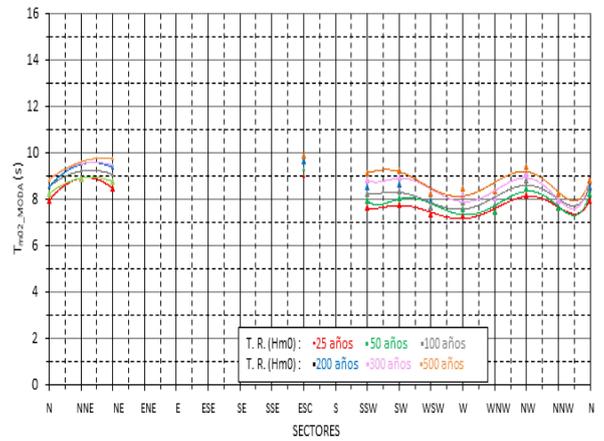
A1



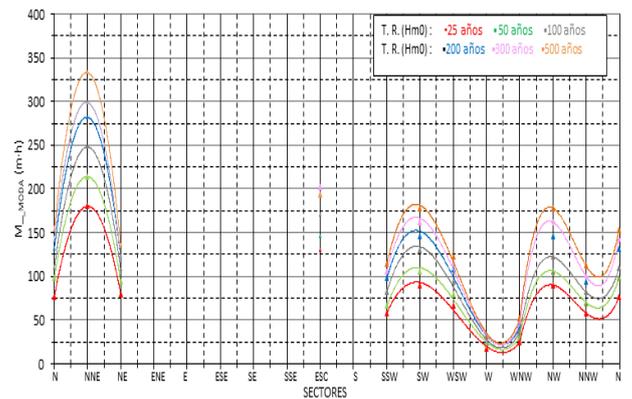
A2



B1



B2



B3

Figura a.9. DRAGONERA
Evolución direccional de:

A: Variables representativas de los temporales de la serie histórica sintética de aguas profundas

A1_ Altura de ola significativa

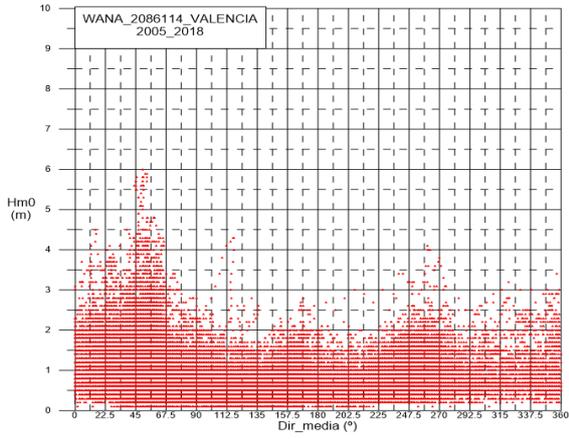
A2_ Periodo medio

B: Valores de retorno estimados de las variables representativas de los temporales

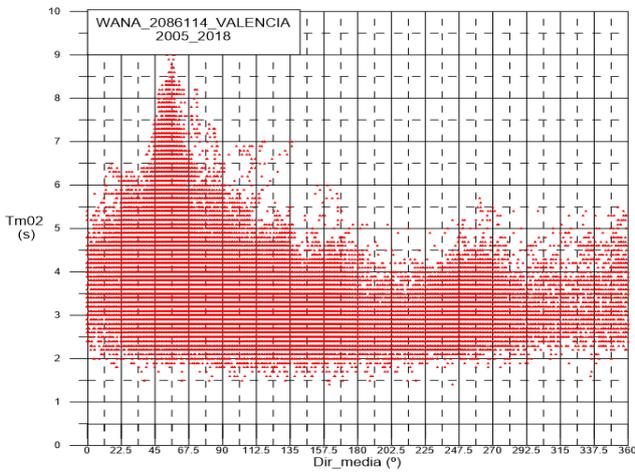
B1_ Altura de ola significativa

B2_ Periodo medio (Moda)

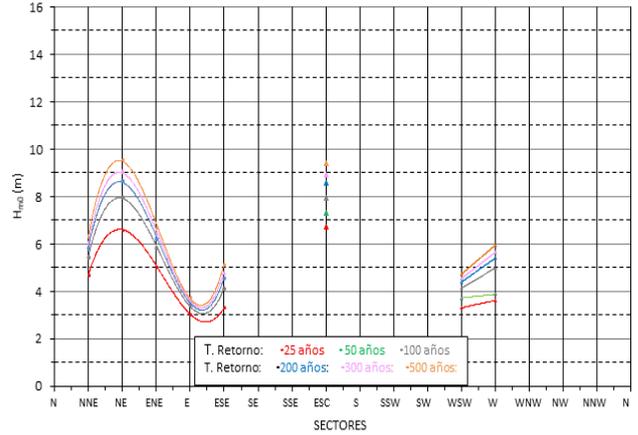
B3_ Magnitud (Moda)



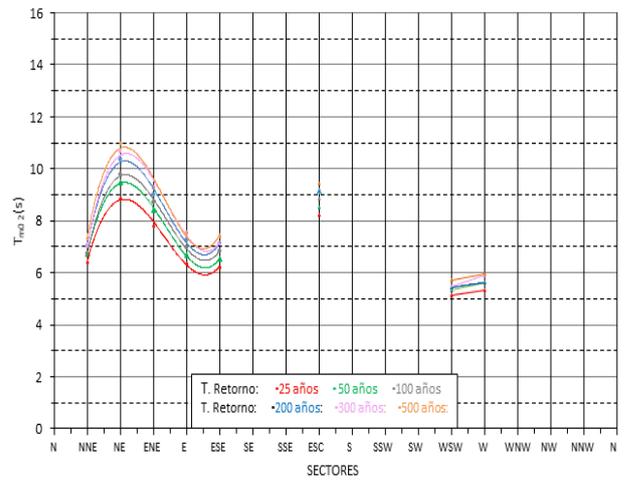
A1



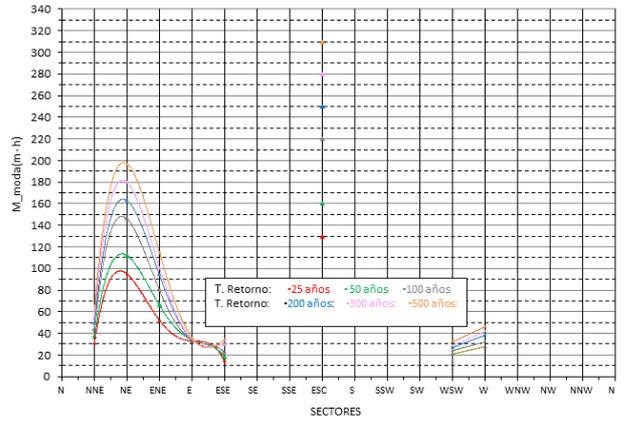
A2



B1



B2



B3

Figura a.10 VALENCIA
Evolución direccional de:

A: Variables representativas de los temporales de la serie histórica sintética de aguas profundas

- A1_ Altura de ola significativa
- A2_ Periodo medio

B: Valores de retorno estimados de las variables representativas de los temporales

- B1_ Altura de ola significativa
- B2_ Periodo medio (Moda)
- B3_ Magnitud (Moda)

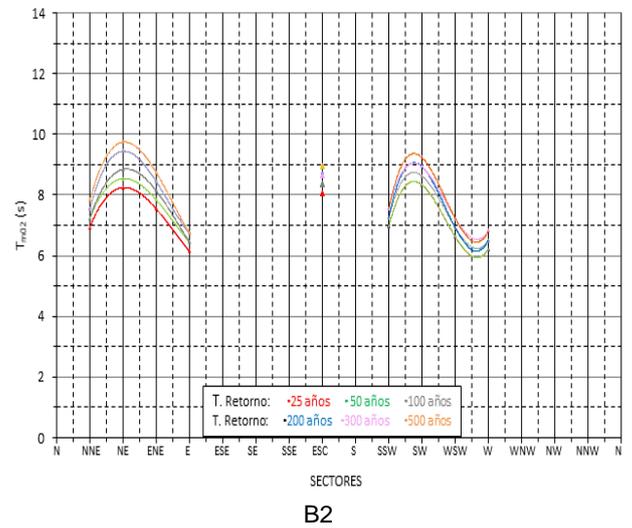
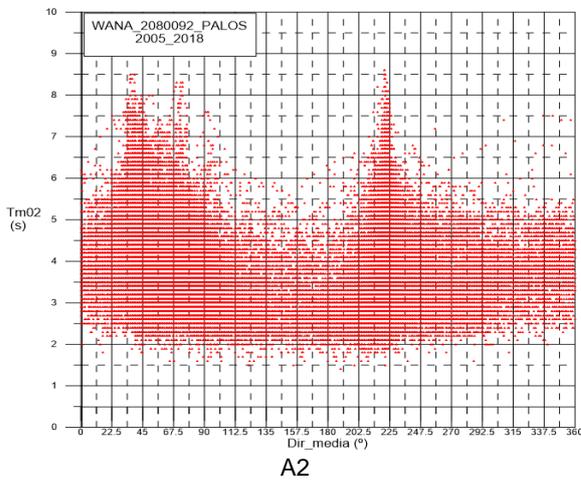
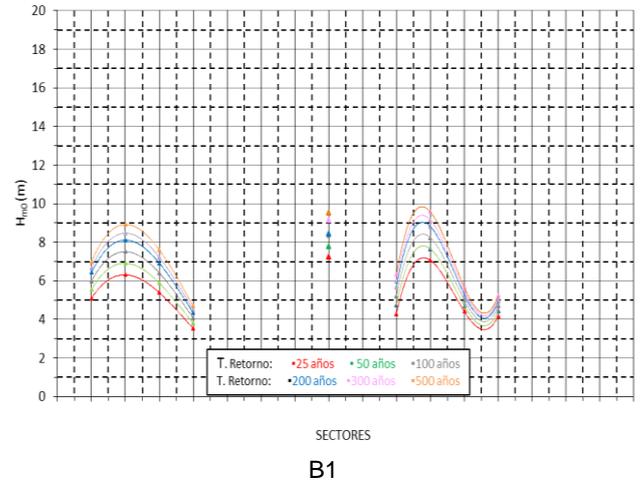
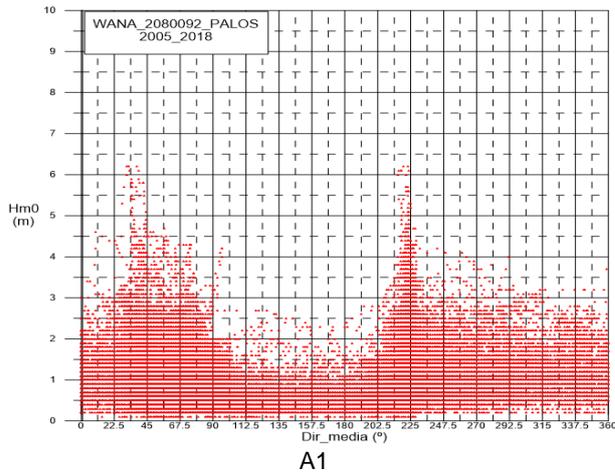


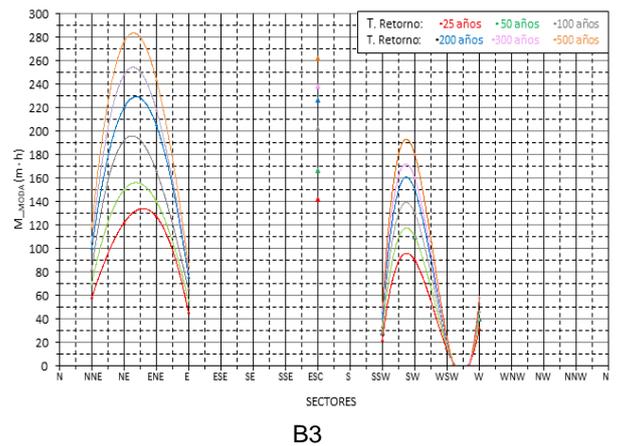
Figura a.11. CABO DE PALOS
Evolución direccional de:

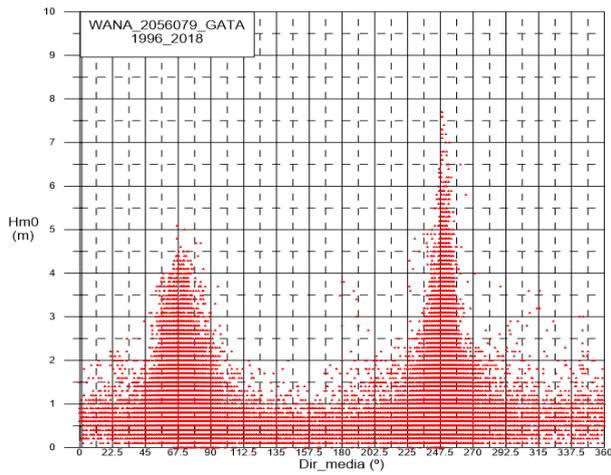
A: Variables representativas de los temporales de la serie histórica sintética de aguas profundas

- A1_ Altura de ola significativa
- A2_ Periodo medio

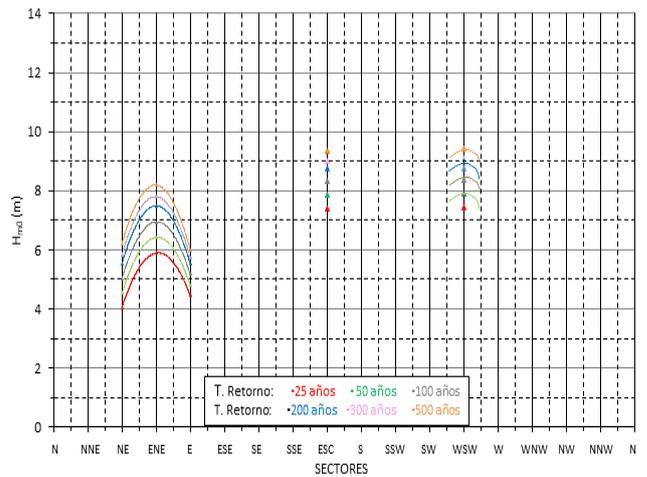
B: Valores de retorno estimados de las variables representativas de los temporales

- B1_ Altura de ola significativa
- B2_ Periodo medio (Moda)
- B3_ Magnitud (Moda)

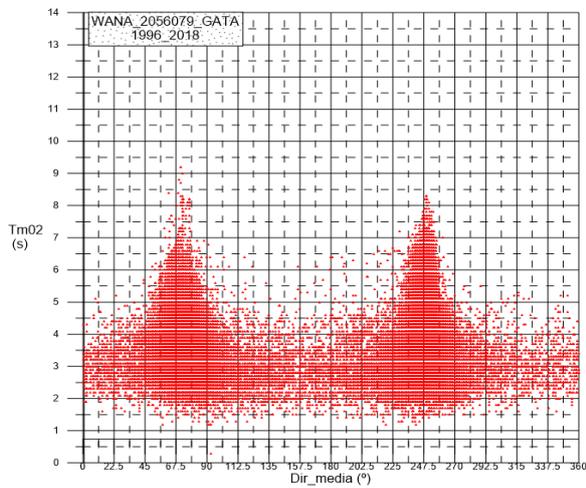




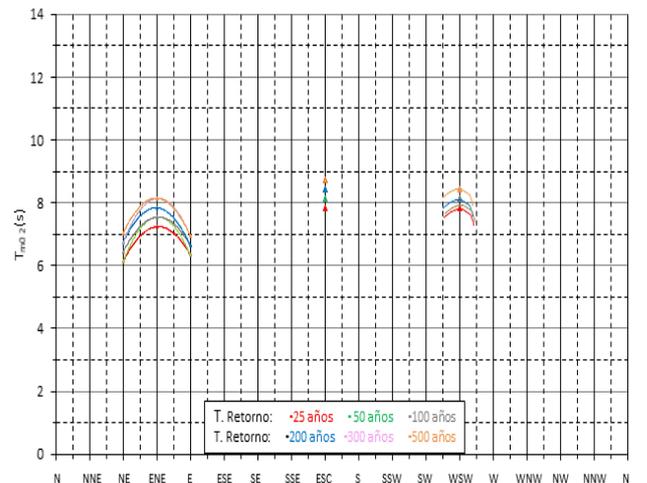
A1



B1



A2



B2

Figura a.12. CABO DE GATA
Evolución direccional de:

A: Variables representativas de los temporales de la serie histórica sintética de aguas profundas

A1_ Altura de ola significativa

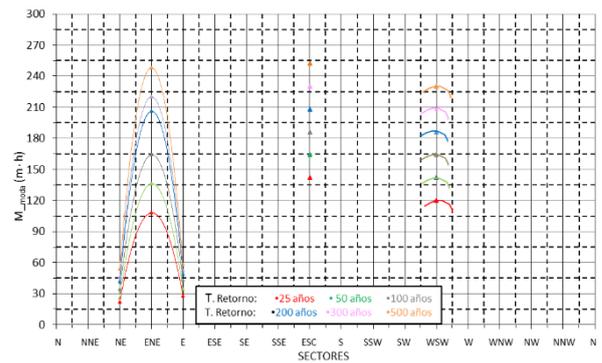
A2_ Periodo medio

B: Valores de retorno estimados de las variables representativas de los temporales

B1_ Altura de ola significativa

B2_ Periodo medio (Moda)

B3_ Magnitud (Moda)



B3

ANEXO 2.

ATLAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE OBRAS MARÍTIMAS EN EL MARCO DE LA ROM 0.0_01 Y ROM 1.0_09

A partir de los datos descritos en el apartado 1.5.1 de esta guía se ha elaborado la información requerida para el dimensionamiento de las obras marítimas y la verificación de la ecuación representativa de los modos de fallo en los que el oleaje es la acción preponderante. Dicha información se presenta con formato de atlas en un total de 12 ubicaciones de la costa española. Para cada una de las áreas los resultados están referidos a aguas profundas y se han organizado en dos fichas.

La disposición de la información en cada ficha es la siguiente:

FICHA 1. Contiene la información gráfica, que recoge, en términos escalares (todas las direcciones), la siguiente información:

- Posición del punto sintético empleado en la caracterización.
- Fetch de las direcciones activas.
- Rosa de oleaje de 16 brazos (direcciones), o histograma de los valores de altura de ola por direcciones.
- Rosa de flujo de energía de 16 brazos.
- Frecuencia mensual de los temporales en cada una de las direcciones activas.
- Patrón teórico de tormenta durante el ciclo de solicitación.
- Régimen extremal escalar de la altura de ola significativa de los picos del temporal, H_{mo} .
- Régimen escalar del periodo medio, T_{m02} , concomitante con la altura de ola del pico de temporal.
- Régimen escalar de la magnitud, M , o energía del ciclo de solicitación, concomitante con la altura de ola del pico de temporal.
- Desviación típica de las alturas de retorno.
- Evolución, en todas las direcciones activas, de la altura de ola de retorno, H_{moR} , de 25, 50, 100, 300 y 500 años.
- Evolución, en todas las direcciones activas, del periodo medio más probable, $\hat{T}_{m02,R}$, para las alturas de ola asociadas a los periodos de retorno referidos, H_{moR} .
- Evolución, en todas las direcciones activas, de la magnitud más probable, \hat{M}_R , con las alturas de ola de retorno, H_{moR} , referidas.
- Relación del periodo medio más probable, $\hat{T}_{m02,R}$, con las alturas significantes de retorno, H_{moR} .
- Relación de la magnitud más probable, \hat{M}_R , con las alturas significantes de retorno, H_{moR} .

FICHA 2. La segunda de las fichas contiene, en diversas tablas, todos los valores numéricos requeridos para el dimensionamiento, a nivel de anteproyecto, de las estructuras marítimas, dentro del marco de la ROM 1.0-09. La información contenida en las distintas tablas guarda relación con las gráficas que se incluyen en la primera de las fichas.

La representación gráfica correspondiente a cada una de las direcciones activas con relación al tramo de costa representativo del punto de información analizado no se incluye en este atlas para simplificar la presentación, pero han sido elaboradas con el fin de evaluar visualmente la bondad de los ajustes.

Para facilitar la aplicación práctica de esta metodología en la zona de proyecto, las tablas se han numerado de ① a ⑨ y con estos números se referencian en el apartado 2.2, destinado a la descripción de los procedimientos propuestos para la verificación del diseño de obras marítimas.

A continuación se muestran las fichas en las 12 ubicaciones seleccionadas numeradas tal y como se indica en la figura A.1.



Figura A1. Distribución de los puntos en los que se han generado fichas para este atlas.

FACHADA ATLÁNTICA:

- POSICIÓN 1. Páginas 70 y 71.
- POSICIÓN 2. Páginas 72 y 73
- POSICIÓN 3. Páginas 74 y 75
- POSICIÓN 4. Páginas 76 y 77
- POSICIÓN 5. Páginas 78 y 79

FACHADA MEDITERRÁNEA:

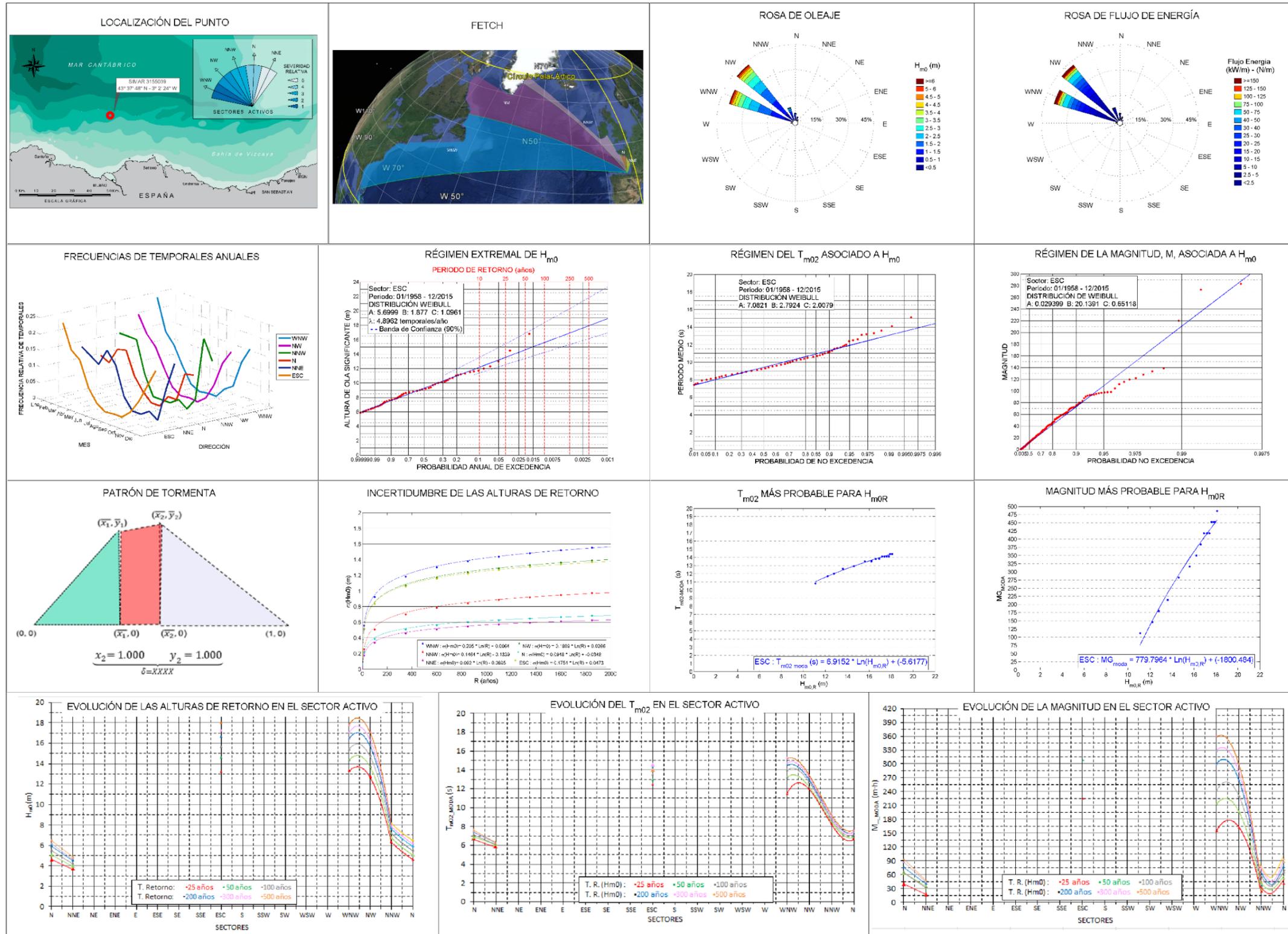
- POSICIÓN 6. Páginas 81 y 82
- POSICIÓN 7. Páginas 83 y 84
- POSICIÓN 8. Páginas 85 y 86
- POSICIÓN 9. Páginas 87 y 88
- POSICIÓN 10. Páginas 89 y 90

ISLAS BALEARES:

- POSICIÓN 11. Páginas 92 y 93
- POSICIÓN 12. Páginas 94 y 95

En la cabecera de todas ellas se incluye la referencia y las coordenadas al punto sintético utilizado como fuente de datos de oleaje.

A.FACHADA ATLÁNTICA.



POSICION 1 EN LA FACHADA ATLÁNTICA. FICHA 1.



Puertos del Estado

SIMAR 3155039 (longitud: 3.04W, latitud: 43.63N)
AGUAS PROFUNDAS. CONDICIONES EXTREMAS
PARTE B. CRITERIOS ROM - DISEÑO DE OBRAS



RÉGIMEN EXTREMAL de H_{m0} (WEIBULL)

SECTOR	H _{m0_u_tor} (m)	λ (temp/añ)	Weibull F(H _{m0})			σ _{H_{m0}}	
			A _{H_{m0}}	B _{H_{m0}}	C _{H_{m0}}	A _{σ_{H_{m0}}}	B _{σ_{H_{m0}}}
WNW	5.40	3.789	5.417	1.965	1.098	0.006	0.2049
NW	5.00	4.792	5.079	1.741	1.064	0.027	0.1808
NNW	4.00	0.882	4.085	0.803	1.118	-0.134	0.1463
N	2.00	2.734	2.048	0.603	0.992	-0.035	0.0947
NNE	2.00	0.986	2.037	0.591	1.169	-0.070	0.0920
ESC	5.75	4.896	5.700	1.877	1.096	0.047	0.1750

PARÁMETROS ESPECTRO DIRECCIONAL

SECTOR	ESPECTRO JONSWAP				DISPERSION ANGULAR MGS			
	PARAMETRO APUNTAMIENTO (γ)				PARAMETRO DISPERSIÓN (S _{MAX})			
	MEDIA	MAX	MIN	DES	MEDIA	MAX	MIN	DES
WNW	3.03	4.15	2.30	0.36	24.70	73.19	3.61	14.89
NW	3.17	4.15	2.32	0.36	22.79	75.92	5.17	12.54
NNW	3.74	4.67	2.65	0.47	20.29	64.75	4.56	13.58
N	4.59	6.79	2.61	0.94	32.16	116.75	2.95	30.32
NNE	5.02	6.68	2.41	0.87	21.29	104.16	2.84	25.44
ESC	3.06	4.15	2.30	0.34	22.03	69.24	3.61	13.00

RÉGIMEN CONCOMITANTE T_{m02}

SECTOR	Weibull F(T _{m02})		
	A _{T_{m02}}	B _{T_{m02}}	C _{T_{m02}}
WNW	7.082	2.926	1.842
NW	7.058	2.186	1.900
NNW	6.383	0.924	1.603
N	4.285	1.230	2.010
NNE	4.341	0.901	1.957
ESC	7.082	2.792	2.008

PARÁMETRO DEPENDENCIA H_{m0}-T_{m02}

SECTOR	F(H _{m0})	F(T _{m02})	Dep
WNW	A _{H_{m0}}	A _{T_{m02}}	1.190
NW			1.688
NNW	B _{H_{m0}}	B _{T_{m02}}	2.732
N	C _{H_{m0}}	C _{T_{m02}}	2.196
NNE	(Tabla 1)	(Tabla 2)	2.893
ESC			1.257

PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE (para H_{m0_R})

SECTOR	a _{T_{m02}}	b _{T_{m02}}
WNW	-18.330	11.620
NW	-0.200	4.740
NNW	0.940	3.940
N	3.450	2.160
NNE	2.790	2.420
ESC	-5.620	6.920

PATRÓN DE TORMENTA

SECTOR	PATRON TORMENTA				δ
	X1	Y1	X2	Y2	
WNW	0.42527	0.98452	0.59637	0.99034	1.1563
NW	0.31815	0.98864	0.45778	0.99027	1.1278
NNW	0.2781	0.99956	0.43728	0.98413	1.1475
N	0.34375	0.99264	0.55059	0.9891	1.1956
NNE	0.35241	0.99698	0.52407	0.99068	1.164
ESC	0.3777	0.99022	0.52526	0.99282	1.138

RÉGIMEN CONCOMITANTE M

SECTOR	Weibull F(Mg)		
	A _{Mg}	B _{Mg}	C _{Mg}
WNW	0.081	17.239	0.662
NW	0.090	22.631	0.780
NNW	0.090	7.497	1.040
N	0.086	5.771	0.694
NNE	0.059	4.750	0.790
ESC	0.029	20.139	0.651

PARÁMETRO DEPENDENCIA H_{m0}-T_{m02}

SECTOR	F(H _{m0})	F(Mg)	Dep
WNW	A _{H_{m0}}	A _{Mg}	3.077
NW			3.068
NNW	B _{H_{m0}}	B _{Mg}	2.720
N	C _{H_{m0}}	C _{Mg}	2.522
NNE	(Tabla 1)	(Tabla 2)	2.241
ESC			4.456

MAGNITUD MÁS PROBABLE (para H_{m0_R})

SECTOR	a _{Mg}	b _{Mg}
WNW	-1322.66	578.59
NW	-916.07	428.27
NNW	-110.28	72.15
N	-170.69	140.60
NNE	-77.67	76.49
ESC	-1800.48	779.80

A FRECUENCIA MENSUAL DE TEMPORALES

MES	WNW	NW	NNW	N	NNE	ESC
ENE	0.24	0.20	0.16	0.10	0.14	0.23
FEB	0.15	0.15	0.16	0.09	0.12	0.15
MAR	0.11	0.12	0.16	0.14	0.11	0.13
ABR	0.06	0.07	0.06	0.15	0.16	0.06
MAY	0.01	0.02	0.00	0.08	0.12	0.02
JUN	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00
JUL	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
AGO	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
SEP	0.04	0.02	0.00	0.05	0.02	0.03
OCT	0.05	0.07	0.04	0.05	0.00	0.07
NOV	0.14	0.15	0.24	0.14	0.11	0.13
DIC	0.19	0.19	0.18	0.15	0.19	0.18

B ALTURA DE RETORNO

R(años)	WNW	NW	NNW	N	NNE	ESC
5	9.9	11.0	7.5	6.1	5.6	10.9
10	10.2	11.2	7.7	6.4	5.8	11.7
15	10.2	11.5	8.0	6.6	5.8	12.2
25	10.4	12.0	8.2	6.6	5.8	12.4
50	13.2	12.2	8.5	6.9	6.1	12.9
100	13.9	12.7	8.7	7.1	6.1	13.4
150	14.2	13.0	8.7	7.1	6.3	13.7
200	14.4	13.0	9.0	7.4	6.3	13.9
250	14.7	13.2	9.0	7.4	6.3	13.9
300	14.7	13.2	9.0	7.4	6.3	14.2
400	14.9	13.2	9.2	7.4	6.3	14.2
500	15.2	13.5	9.2	7.6	6.3	14.4

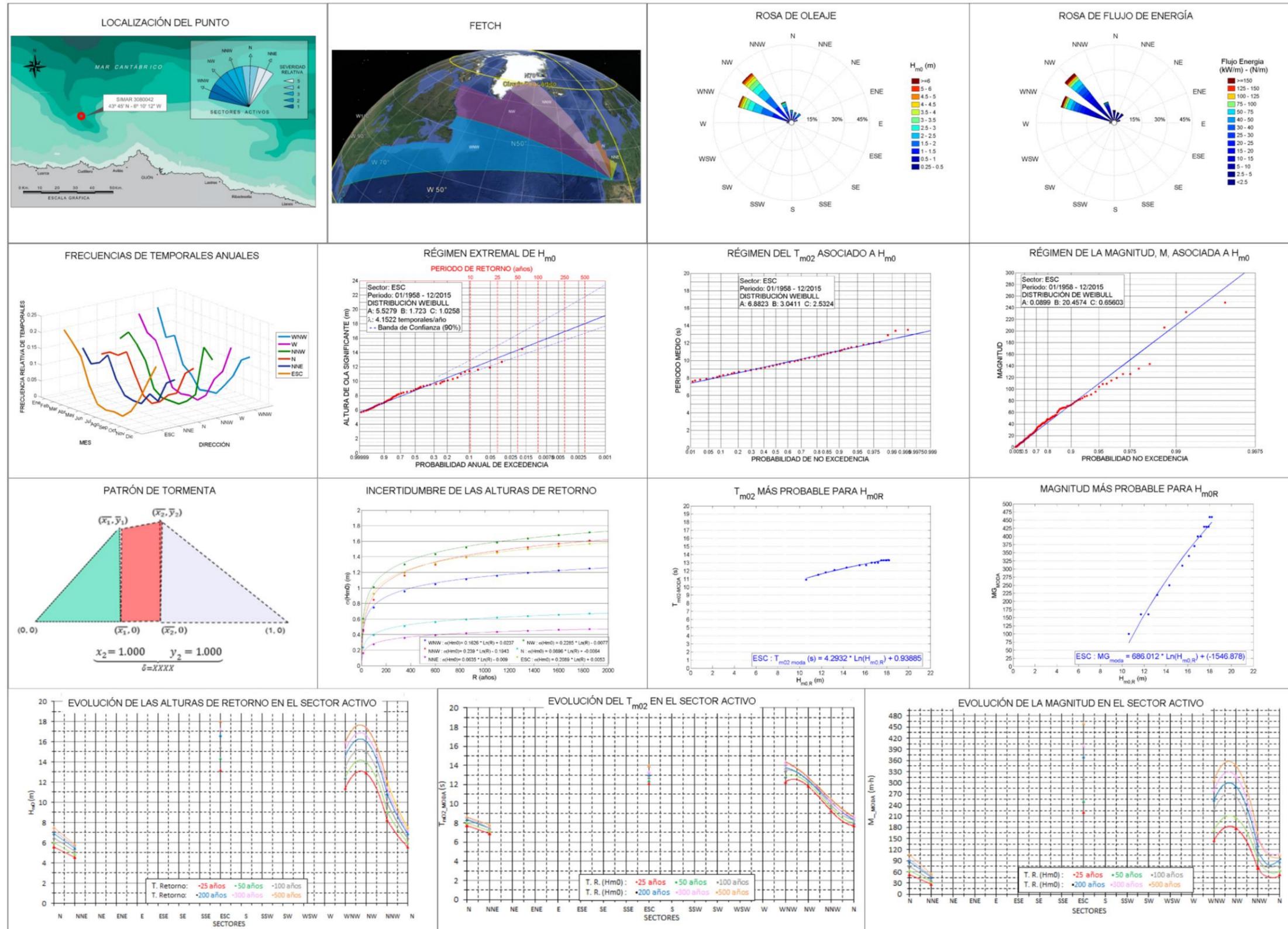
C PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE

R(años)	WNW	NW	NNW	N	NNE	ESC
5	9.9	11.0	7.5	6.1	5.6	10.9
10	10.2	11.2	7.7	6.4	5.8	11.7
15	10.2	11.5	8.0	6.6	5.8	12.2
25	10.4	12.0	8.2	6.6	5.8	12.4
50	13.2	12.2	8.5	6.9	6.1	12.9
100	13.9	12.7	8.7	7.1	6.1	13.4
150	14.2	13.0	8.7	7.1	6.3	13.7
200	14.4	13.0	9.0	7.4	6.3	13.9
250	14.7	13.2	9.0	7.4	6.3	13.9
300	14.7	13.2	9.0	7.4	6.3	14.2
400	14.9	13.2	9.2	7.4	6.3	14.2
500	15.2	13.5	9.2	7.6	6.3	14.4

D MAGNITUD MÁS PROBABLE

R(años)	WNW	NW	NNW	N	NNE	ESC
5	68	95	10	18	10	112
10	126	129	14	26	12	146
15	126	146	18	34	14	180
25	155	163	22	42	18	214
50	213	197	26	50	24	282
100	242	231	30	66	30	316
150	271	248	34	74	34	350
200	300	265	36	74	36	384
250	300	265	36	82	38	418
300	329	282	38	82	40	418
400	358	299	40	90	42	452
500	358	299	42	98	46	452

POSICIÓN 1 EN LA FACHADA ATLÁNTICA. FICHA 2.



POSICIÓN 2 EN LA FACHADA ATLÁNTICA. FICHA 1.



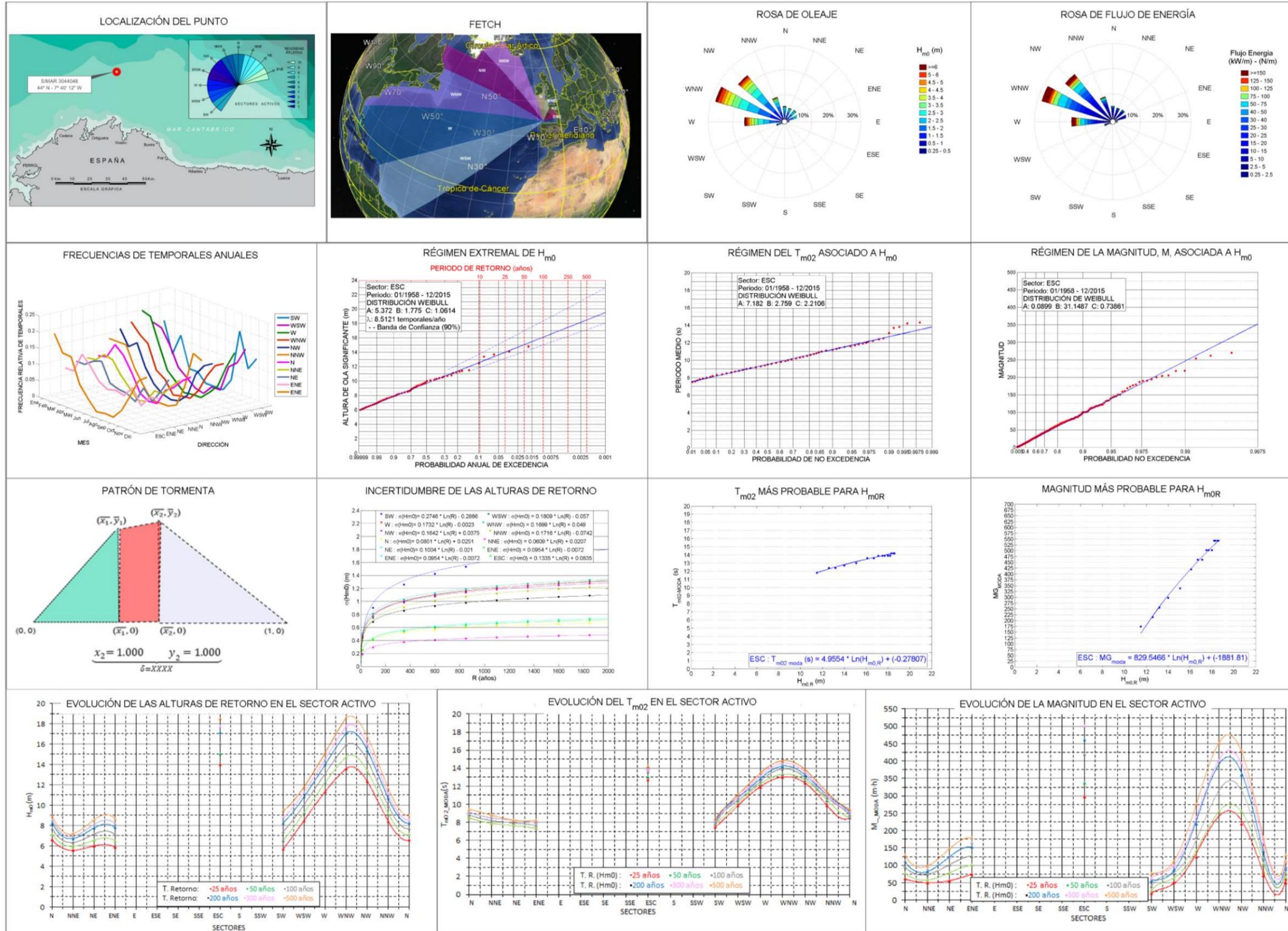
Puertos del Estado

SIMAR 3080042 (longitud: 6.17W, latitud: 43.75N)
AGUAS PROFUNDAS. CONDICIONES EXTREMAS
PARTE B. CRITERIOS ROM - DISEÑO DE OBRAS



RÉGIMEN EXTREMAL de H _{m0} (WEIBULL)								PARÁMETROS ESPECTRO DIRECCIONAL																			
1	SECTOR	H _{m0_u_tor} (m)	λ (temp/añ)	Weibull F(H _{m0})			σ_H _{m0}		9	SECTOR	ESPECTRO JONSWAP				DISPERSION ANGULAR MGS												
				A_H _{m0}	B_H _{m0}	C_H _{m0}	A_σH _{m0}	B_σH _{m0}				PARAMETRO APUNTAMIENTO (γ)				PARAMETRO DISPERSIÓN (S _{MAX})											
												MEDIA	MAX	MIN	DES	MEDIA	MAX	MIN	DES								
	WNW	4.0	6.454	4.045	1.357	0.962	0.0237	0.1626		WNW	3.13	4.72	2.29	0.40	36.65	80.72	3.25	16.89									
	NW	5.4	3.547	5.405	1.883	1.089	-0.0021	0.2061		NW	2.96	4.15	2.30	0.30	27.13	76.19	5.21	13.56									
	NNW	4.0	1.782	4.085	0.932	0.892	-0.1943	0.239		NNW	3.42	4.15	2.38	0.37	27.89	84.89	9.66	14.44									
	N	2.5	3.444	2.555	0.704	1.03	-0.0064	0.0896		N	3.98	5.70	2.52	0.71	36.38	97.83	4.41	25.62									
	NNE	2.5	2.630	2.547	0.551	1.103	-0.009	0.0635		NNE	4.24	5.70	2.53	0.82	32.73	110.11	3.99	28.64									
ESC	5.5	4.152	5.528	1.723	1.026	-0.0053	0.2089	ESC	2.96	4.15	2.29	0.32	26.88	76.92	5.21	14.00											
2	RÉGIMEN CONCOMITANTE T _{m02}				PARÁMETRO DEPENDENCIA H _{m0} -T _{m02}				PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE (para H _{m0_R})				8	PATRÓN DE TORMENTA													
	SECTOR	Weibull F(T _{m02})			SECTOR	F(H _{m0})	F(T _{m02})	Dep	SECTOR	a_T _{m02}	b_T _{m02}	PATRON TORMENTA															
		A_T _{m02}	B_T _{m02}	C_T _{m02}								X1		Y1	X2	Y2	δ										
	WNW	5.806	3.644	2.233	WNW	A_H _{m0}	A_T _{m02}	1.177	WNW	-7.510	7.960	WNW		0.4513	0.9721	0.6595	0.9916	1.1851									
	NW	6.882	3.015	2.771	NW			B_H _{m0}	B_T _{m02}	1.331	NW	2.330		3.690	NW	0.3288	0.9948	0.4741	0.9926	1.1379							
	NNW	6.135	1.977	2.447	NNW	C_H _{m0}	C_T _{m02}	1.747	NNW	3.950	2.570	NNW		0.2776	0.9966	0.4461	0.9880	1.1584									
	N	4.885	1.580	2.235	N	(Tabla 1)	(Tabla 2)	1.874	N	2.730	2.950	N		0.3533	0.9950	0.5390	0.9924	1.1781									
NNE	4.912	1.095	2.093	NNE			1.297	NNE	3.030	2.620	NNE	0.3790		0.9936	0.5976	0.9890	1.2079										
ESC	6.882	3.041	2.532	ESC				ESC	0.940	4.290	ESC	0.3361	0.9919	0.4789	0.9941	1.1350											
3	RÉGIMEN CONCOMITANTE M				PARÁMETRO DEPENDENCIA H _{m0} -T _{m02}				MAGNITUD MÁS PROBABLE (para H _{m0_R})																		
	SECTOR	Weibull F(Mg)			SECTOR	F(H _{m0})	F(Mg)	Dep	SECTOR	a_Mg	b_Mg																
		A_Mg	B_Mg	C_Mg																							
	WNW	0.044	13.037	0.651	WNW	A_H _{m0}	A_Mg	2.834	WNW	-841.35	412.27																
	NW	0.090	22.067	0.717	NW			B_H _{m0}	B_Mg	3.667	NW	-1193.71	540.36														
	NNW	0.084	10.281	0.682	NNW	C_H _{m0}	C_Mg	2.995	NNW	-372.73	213.08																
	N	0.085	6.353	0.705	N	(Tabla 1)	(Tabla 2)	2.721	N	-225.44	162.99																
NNE	0.036	4.640	0.797	NNE			4.781	NNE	-124.00	100.02																	
ESC	0.090	20.457	0.656	ESC				ESC	-1546.88	686.01																	
A FRECUENCIA MENSUAL DE TEMPORALES							B ALTURA DE RETORNO							C PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE							D MAGNITUD MÁS PROBABLE						
MES	WNW	NW	NNW	N	NNE	ESC	R(años)	WNW	NW	NNW	N	NNE	ESC	R(años)	WNW	NW	NNW	N	NNE	ESC	R(años)	WNW	NW	NNW	N	NNE	ESC
ENE	0.21	0.20	0.14	0.10	0.13	0.20	5	9.0	10.4	6.3	4.5	3.9	10.6	5	9.9	10.9	8.7	7.1	6.6	10.9	5	91	94	34	28	14	100
FEB	0.12	0.15	0.17	0.12	0.09	0.17	10	10.0	11.5	7.1	5.0	4.2	11.7	10	10.2	11.2	9.0	7.4	6.9	11.5	10	118	122	46	34	18	160
MAR	0.14	0.14	0.14	0.12	0.11	0.14	15	10.6	12.1	7.6	5.2	4.3	12.4	15	11.7	11.5	9.3	7.7	6.9	11.8	15	118	150	58	40	22	160
ABR	0.06	0.07	0.10	0.14	0.14	0.06	25	11.4	12.9	8.3	5.6	4.6	13.2	25	12.3	11.8	9.3	7.7	6.9	12.1	25	145	178	70	52	26	220
MAY	0.04	0.01	0.02	0.08	0.07	0.01	50	12.5	13.9	9.1	6.0	4.9	14.3	50	12.9	12.1	9.6	8.0	7.2	12.4	50	172	206	94	64	34	250
JUN	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	100	13.5	15.0	10.0	6.5	5.2	15.5	100	13.5	12.4	9.9	8.3	7.5	12.7	100	226	262	106	76	38	310
JUL	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	150	14.1	15.6	10.5	6.7	5.3	16.1	150	13.8	12.4	9.9	8.3	7.5	12.7	150	253	290	118	82	42	340
AGO	0.01	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	200	14.6	16.0	10.9	6.9	5.5	16.6	200	13.8	12.4	10.2	8.3	7.5	13.0	200	253	290	130	88	46	370
SEP	0.04	0.02	0.02	0.05	0.07	0.03	250	14.9	16.3	11.2	7.1	5.6	16.9	250	14.1	12.7	10.2	8.6	7.5	13.0	250	280	318	142	94	46	400
OCT	0.08	0.08	0.05	0.07	0.05	0.07	300	15.2	16.6	11.4	7.2	5.6	17.2	300	14.1	12.7	10.2	8.6	7.5	13.0	300	280	318	142	94	50	400
NOV	0.14	0.12	0.20	0.14	0.12	0.13	400	15.6	17.0	11.8	7.4	5.8	17.7	400	14.4	12.7	10.2	8.6	7.5	13.3	400	307	346	154	100	50	430
DIC	0.16	0.20	0.17	0.16	0.14	0.19	500	16.0	17.4	12.1	7.5	5.8	18.0	500	14.4	12.7	10.5	8.6	7.8	13.3	500	307	346	166	106	54	460

POSICIÓN 2. FACHADA ATLÁNTICA. FICHA 2.



POSICIÓN 3. FACHADA ATLÁNTICA. FICHA 1.



Puertos del Estado

SIMAR 3044048 (longitud: 7.67W, latitud: 44.00N)
AGUAS PROFUNDAS. CONDICIONES EXTREMAS
PARTE B. CRITERIOS ROM - DISEÑO DE OBRAS



CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

RÉGIMEN EXTREMAL de H_{m0} (WEIBULL)

SECTOR	H _{m0_u_tor} (m)	λ (temp/año)	Weibull F(H _{m0})			σ _{H_{m0}}	
			A _{H_{m0}}	B _{H_{m0}}	C _{H_{m0}}	A _{σ_{H_{m0}}}	B _{σ_{H_{m0}}}
SW	2.0	1.298	2.074	0.879	0.879	-0.2885	0.27450
WSW	3.5	2.353	3.554	1.315	1.045	-0.0710	0.19170
W	5.0	4.135	5.079	1.467	1.026	-0.0030	0.18070
WNW	4.7	7.855	4.779	1.794	1.041	0.0698	0.15430
NW	4.5	6.436	4.519	1.756	1.112	0.0705	0.13630
NNW	4.0	2.820	4.058	0.986	0.967	-0.0653	0.16720
N	2.5	5.813	2.578	0.830	1.013	0.0242	0.08230
NNE	2.5	5.381	2.521	0.809	1.235	0.0316	0.05000
NE	2.5	5.398	2.573	0.596	0.930	0.0045	0.08010
ENE	2.5	4.550	2.567	0.642	0.979	0.0027	0.08390
ESC	5.3	8.512	5.372	1.775	1.061	0.0834	0.1335

PARÁMETROS ESPECTRO DIRECCIONAL

SECTOR	ESPECTRO JONSWAP				DISPERSION ANGULAR MGS			
	PARAMETRO APUNTAMIENTO (γ)				PARAMETRO DISPERSIÓN (S _{MAX})			
	MEDIA	MAX	MIN	DES	MEDIA	MAX	MIN	DES
SW	3.81	5.85	2.33	0.71	48.37	122.21	5.58	30.14
WSW	3.54	5.78	2.54	0.52	27.56	67.92	1.24	14.71
W	3.13	4.19	2.29	0.39	26.86	72.31	2.50	14.48
WNW	3.09	4.15	2.30	0.35	29.07	78.89	5.46	14.49
NW	3.11	4.35	2.22	0.36	30.78	73.97	6.24	14.57
NNW	3.43	4.93	2.38	0.43	28.75	77.83	3.34	15.96
N	3.86	5.78	2.56	0.69	38.15	96.61	3.18	24.21
NNE	4.18	6.29	2.26	0.86	32.86	126.93	1.83	26.84
NE	4.73	6.68	2.38	0.96	21.52	118.07	1.15	25.50
ENE	5.23	6.58	2.93	0.633	9.65	91.15	1.11	13.33
ESC	3.06	4.23	2.22	0.347	28.42	75.42	2.50	13.36

RÉGIMEN CONCOMITANTE T_{m02}

SECTOR	Weibull F(T _{m02})		
	A _{T_{m02}}	B _{T_{m02}}	C _{T_{m02}}
SW	4.614	1.587	2.098
WSW	5.184	2.835	2.610
W	6.982	2.506	2.114
WNW	7.182	2.406	1.773
NW	6.811	2.528	1.962
NNW	6.383	1.682	1.815
N	5.084	1.420	1.850
NNE	5.045	1.077	1.658
NE	4.785	1.138	1.793
ENE	4.785	0.936	1.596
ESC	7.182	2.759	2.211

PARÁMETRO DEPENDENCIA H_{m0}-T_{m02}

SECTOR	F(H _{m0})	F(T _{m02})	Dep
SW			1.667
WSW			1.566
W			1.536
WNW	A _{H_{m0}}	A _{T_{m02}}	1.397
NW	B _{H_{m0}}	B _{T_{m02}}	1.583
NNW	C _{H_{m0}}	C _{T_{m02}}	1.918
N	(Tabla 1)	(Tabla 2)	2.073
NNE			2.304
NE			2.711
ENE			3.201
ESC			1.428

PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE (para H_{m0_R})

SECTOR	a _{T_{m02}}	b _{T_{m02}}
SW	3.900	1.980
WSW	1.730	3.780
W	-0.300	5.010
WNW	-1.810	5.650
NW	-0.130	4.950
NNW	1.400	4.020
N	2.170	3.290
NNE	2.010	3.400
NE	3.840	2.070
ENE	3.390	2.180
ESC	-0.280	4.960

PATRÓN DE TORMENTA

SECTOR	PATRON TORMENTA				δ
	X1	Y1	X2	Y2	
SW	0.58952	0.98628	0.76785	0.9887	1.1632
WSW	0.57043	0.96891	0.81321	0.99061	1.2135
W	0.49571	0.98005	0.77359	0.98992	1.2574
WNW	0.34266	0.98259	0.63544	0.98829	1.2740
NW	0.29207	0.99536	0.55414	0.99145	1.2534
NNW	0.30095	0.99593	0.54347	0.99002	1.2333
N	0.33528	0.99359	0.59878	0.98825	1.2519
NNE	0.35932	0.99453	0.64798	0.99126	1.2795
NE	0.36277	0.9924	0.66941	0.99086	1.2957
ENE	0.31066	0.99212	0.70203	0.99469	1.3822
ESC	0.24349	0.99111	0.6515	0.99362	1.3974

RÉGIMEN CONCOMITANTE M

SECTOR	Weibull F(Mg)		
	A _{Mg}	B _{Mg}	C _{Mg}
SW	0.000	2.902	0.618
WSW	0.090	7.538	0.688
W	0.090	12.975	0.639
WNW	0.090	25.705	0.716
NW	0.090	24.378	0.722
NNW	0.090	10.718	0.695
N	0.090	8.255	0.745
NNE	0.090	6.822	0.744
NE	0.090	5.765	0.630
ENE	0.090	8.936	0.655
ESC	0.090	31.149	0.739

PARÁMETRO DEPENDENCIA H_{m0}-T_{m02}

SECTOR	F(H _{m0})	F(Mg)	Dep
SW			2.027
WSW			2.598
W			2.618
WNW	A _{H_{m0}}	A _{Mg}	3.162
NW	B _{H_{m0}}	B _{Mg}	3.141
NNW	C _{H_{m0}}	C _{Mg}	3.309
N	(Tabla 1)	(Tabla 2)	2.497
NNE			2.367
NE			2.753
ENE			2.974
ESC			4.625

MAGNITUD MÁS PROBABLE (para H_{m0_R})

SECTOR	a _{Mg}	b _{Mg}
SW	-121.56	85.10
WSW	-285.13	158.41
W	-986.81	459.96
WNW	-1444.59	644.92
NW	-1359.56	631.93
NNW	-472.94	262.51
N	-261.80	175.90
NNE	-264.15	184.27
NE	-307.07	208.88
ENE	-353.45	247.02
ESC	-1881.81	829.55

A FRECUENCIA MENSUAL DE TEMPORALES

	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	ESC
ENE	0.16	0.16	0.21	0.18	0.17	0.14	0.09	0.10	0.09	0.07	0.20
FEB	0.07	0.15	0.20	0.15	0.12	0.14	0.10	0.10	0.09	0.08	0.15
MAR	0.13	0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.12	0.11	0.13	0.13
ABR	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.12	0.12	0.12	0.11	0.07
MAY	0.04	0.03	0.02	0.04	0.03	0.04	0.08	0.08	0.07	0.08	0.03
JUN	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.05	0.06	0.06	0.00
JUL	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.07	0.00
AGO	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.03	0.04	0.06	0.00
SEP	0.05	0.03	0.03	0.04	0.03	0.01	0.07	0.07	0.08	0.10	0.03
OCT	0.21	0.11	0.06	0.10	0.10	0.08	0.08	0.07	0.05	0.05	0.09
NOV	0.11	0.13	0.13	0.14	0.15	0.19	0.11	0.10	0.09	0.09	0.14
DIC	0.15	0.18	0.18	0.15	0.16	0.18	0.13	0.13	0.14	0.09	0.17

B ALTURA DE RETORNO

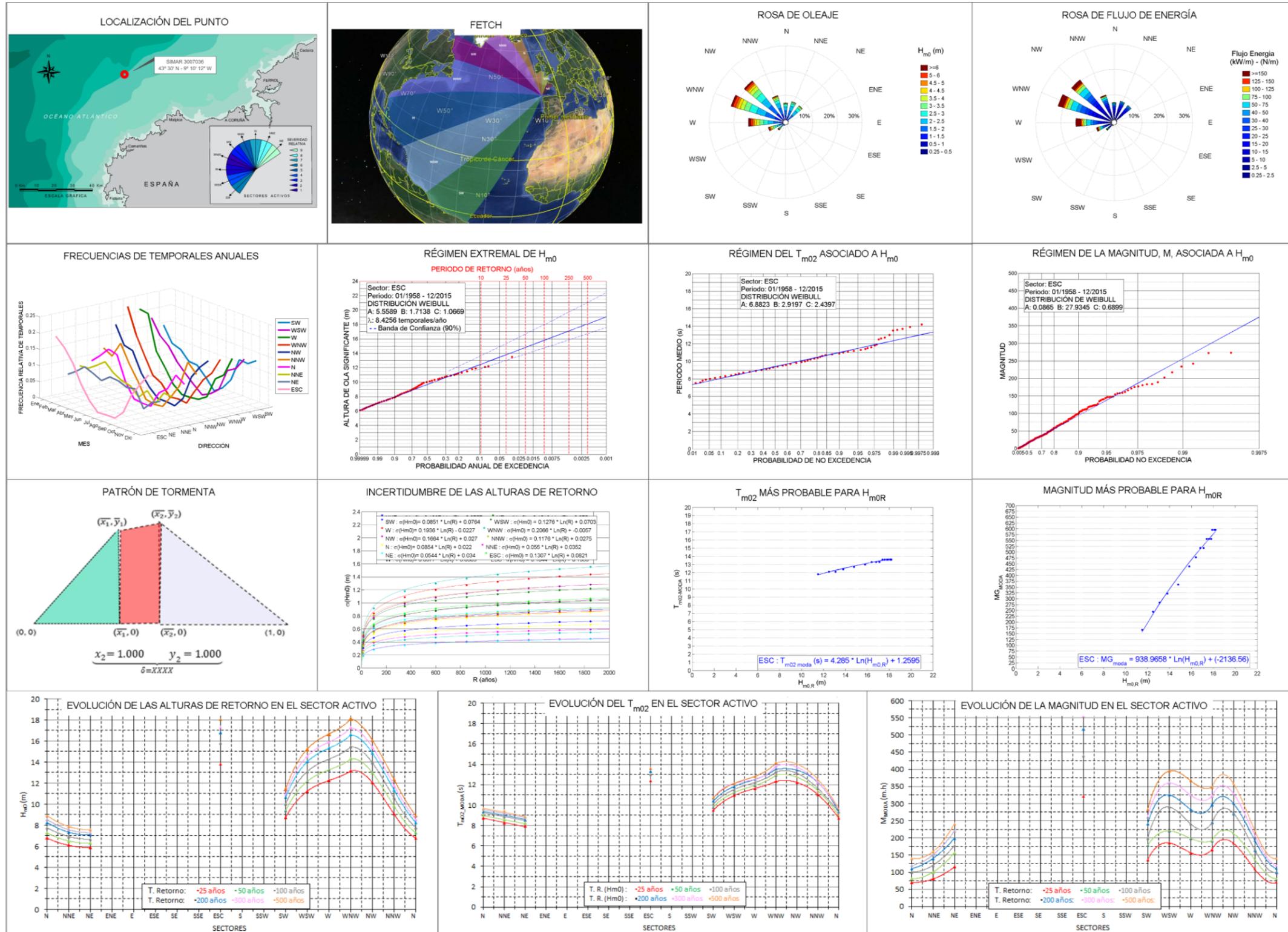
R(años)	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	ESC
5	3.9	6.7	9.4	11.0	9.9	6.8	5.3	4.6	4.7	4.6	11.5
10	4.6	7.5	10.4	12.2	10.9	7.5	5.9	5.0	5.2	5.1	12.6
15	5.1	8.0	10.9	12.8	11.4	7.9	6.2	5.2	5.5	5.4	13.2
25	5.7	8.6	11.6	13.7	12.1	8.5	6.6	5.5	5.9	5.7	14.0
50	6.5	9.4	12.6	14.8	13.0	9.2	7.2	5.8	6.4	6.2	15.1
100	7.4	10.2	13.5	15.9	13.9	10.0	7.7	6.1	6.9	6.7	16.1
150	7.9	10.7	14.1	16.5	14.5	10.4	8.1	6.3	7.2	6.9	16.7
200	8.3	11.0	14.5	17.0	14.8	10.7	8.3	6.4	7.4	7.1	17.1
250	8.6	11.3	14.8	17.3	15.1	11.0	8.5	6.5	7.6	7.3	17.5
300	8.8	11.5	15.0	17.6	15.4	11.2	8.6	6.6	7.7	7.4	17.7
400	9.2	11.8	15.4	18.1	15.7	11.5	8.8	6.7	7.9	7.6	18.2
500	9.4	12.1	15.7	18.4	16.0	11.7	9.0	6.8	8.1	7.8	18.5

C PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE

R(años)	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	ESC
5	6.9	9.1	10.9	11.6	11.3	9.0	7.7	7.1	6.9	6.7	11.9
10	7.1	9.4	11.1	11.9	12.1	9.5	7.7	7.3	7.1	7.0	12.1
15	7.1	9.6	11.4	12.1	12.3	9.8	8.0	7.3	7.4	7.0	12.1
25	7.4	9.9	11.6	12.4	12.6	10.0	8.0	7.6	7.4	7.2	12.4
50	7.4	10.1	11.6	12.6	13.1	10.3	8.2	7.6	7.6	7.2	12.6
100	7.6	10.1	11.9	12.6	13.6	10.8	8.2	7.8	7.6	7.5	12.9
150	7.6	10.4	12.1	12.9	13.8	10.8	8.5	7.8	7.9	7.7	12.9
200	7.9	10.4	12.1	12.9	13.8	11.0	8.5	7.8	7.9	7.7	12.9
250	7.9	10.4	12.1	12.9	14.1	11.0	8.5	7.8	7.9	7.7	13.1
300	7.9	10.4	12.1	13.1	14.1	11.3	8.5	7.8	7.9	7.7	13.1
400	7.9	10.6	12.1	13.1	14.3	11.3	8.5	7.8	8.1	7.7	13.1
500	7.9	10.6	12.4	13.1	14.3	11.3	8.5	7.8	8.1	8.0	13.1

D MAGNITUD MÁS PROBABLE

R(años)	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	ESC
5	10	22	48	108	115	34	44	26	33	36	174
10	10	34	86	157	150	58	44	34	33	49	215
15	10	40	105	206	185	70	61	42	56	62	256
25	19	52	124	255	220	82	61	50	56	75	297
50	28	64	143	255	255	106	78	58	79	101	338
100	40	76	181	304	325						



POSICIÓN 4. FACHADA ATLÁNTICA. FICHA 1.



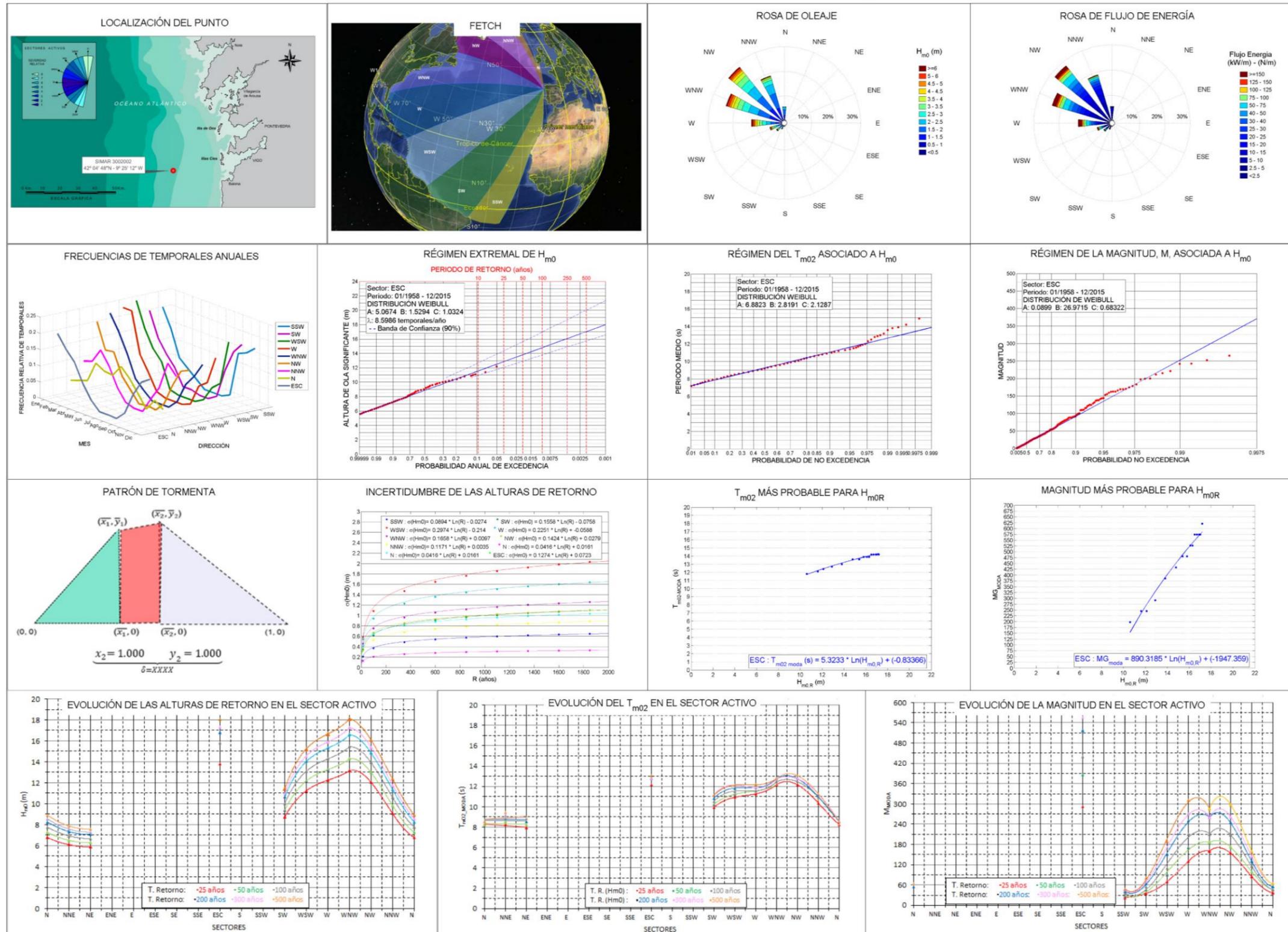
Puertos del Estado

SIMAR 3007036 (longitud: 9.21W, latitud: 43.50N)
AGUAS PROFUNDAS. CONDICIONES EXTREMAS
PARTE B. CRITERIOS ROM - DISEÑO DE OBRAS



RÉGIMEN EXTREMAL de H _{m0} (WEIBULL)								PARÁMETROS ESPECTRO DIRECCIONAL																																			
1	SECTOR	H _{m0_u_tor} (m)	λ (temp/año)	Weibull F(H _{m0})			σ H _{m0}		9	PARÁMETROS ESPECTRO DIRECCIONAL																																	
				A_H _{m0}	B_H _{m0}	C_H _{m0}	A_σH _{m0}	B_σH _{m0}		ESPECTRO JONSWAP				DISPERSION ANGULAR MGS																													
										PARAMETRO APUNTAMIENTO (γ)				PARAMETRO DISPERSIÓN (S _{MAX})																													
										MEDIA	MAX	MIN	DES	MEDIA	MAX	MIN	DES																										
		SW	2.5	7.527	2.504	1.684	1.264	0.0764		0.08510	SW	4.26	6.19	2.52	0.69	17.90	113.02	2.52	15.57																								
		WSW	3.5	7.700	3.566	1.633	1.073	0.0703		0.12760	WSW	3.60	5.28	2.38	0.57	24.04	85.97	2.85	16.46																								
		W	5.5	4.032	5.565	1.420	0.987	-0.0227		0.19360	W	3.08	4.19	2.28	0.37	24.82	66.96	3.98	12.54																								
		WNW	5.5	4.724	5.584	1.489	0.962	-0.0057		0.20660	WNW	3.01	3.97	2.31	0.33	26.77	60.14	5.28	12.42																								
		NW	5.0	4.811	5.062	1.591	1.060	0.0270		0.16640	NW	3.06	4.27	2.21	0.36	29.12	84.38	4.38	14.19																								
		NNW	3.5	5.676	3.570	1.128	1.011	0.0275		0.11760	NNW	3.40	4.87	2.28	0.46	34.71	87.96	3.33	18.08																								
		N	3.0	4.741	3.039	0.874	1.075	0.0220		0.08540	N	3.79	5.70	2.40	0.60	32.19	103.86	1.88	21.55																								
	NNE	2.5	7.562	2.553	0.795	1.109	0.0352	0.05500	NNE	4.68	6.38	2.67	0.87	19.57	102.58	0.93	21.17																										
	NE	2.5	6.645	2.558	0.780	1.124	0.0340	0.05440	NE	5.10	6.19	2.89	0.55	9.42	85.72	1.08	7.02																										
	ESC	5.5	8.426	5.559	1.714	1.067	0.0821	0.13070	ESC	3.1	4.27	2.21	0.375	27.01	76.87	3.43	13.31																										
2	RÉGIMEN CONCOMITANTE T _{m02}				PARÁMETRO DEPENDENCIA H _{m0} -T _{m02}				PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE (para H _{m0_R})				8	PATRÓN DE TORMENTA																													
	SECTOR	Weibull F(T _{m02})			SECTOR	F(H _{m0})	F(T _{m02})	Dep	SECTOR	a_T _{m02}	b_T _{m02}	PATRON TORMENTA				δ																											
		A_T _{m02}	B_T _{m02}	C_T _{m02}								X1		Y1	X2		Y2																										
	SW	4.549	2.480	2.279	SW	(Tabla 1)	(Tabla 2)	2.701	SW	0.860	4.050	SW		0.542	0.968	0.767	0.987	1.194																									
	WSW	5.684	2.304	2.000	WSW			2.927	WSW	0.460	4.320	WSW		0.505	0.966	0.741	0.991	1.206																									
	W	7.282	2.164	2.111	W			2.060	W	1.260	4.120	W		0.438	0.985	0.640	0.992	1.188																									
	WNW	7.681	2.031	1.731	WNW			1.743	WNW	-0.960	5.200	WNW		0.417	0.991	0.597	0.989	1.168																									
	NW	6.982	2.710	2.110	NW			1.540	NW	-0.650	5.230	NW		0.328	0.994	0.487	0.993	1.152																									
	NNW	6.083	2.032	1.712	NNW			1.640	NNW	-0.490	5.210	NNW		0.312	0.997	0.498	0.989	1.177																									
	N	5.584	1.283	1.717	N			2.306	N	2.240	3.410	N		0.342	0.996	0.528	0.989	1.177																									
	NNE	4.785	1.342	1.708	NNE			2.842	NNE	0.820	4.130	NNE		0.373	0.989	0.571	0.991	1.186																									
NE	4.785	1.181	1.641	NE	2.914			NE	1.120	3.860	NE	0.292	0.979	0.524	0.991	1.214																											
ESC	6.882	2.920	2.440	ESC	1.742			ESC	1.260	4.280	ESC	0.332	0.985	0.493	0.992	1.148																											
3	RÉGIMEN CONCOMITANTE M				PARÁMETRO DEPENDENCIA H _{m0} -T _{m02}				MAGNITUD MÁS PROBABLE (para H _{m0_R})				8	PATRÓN DE TORMENTA																													
	SECTOR	Weibull F(Mg)			SECTOR	F(H _{m0})	F(Mg)	Dep	SECTOR	a_Mg	b_Mg	PATRON TORMENTA				δ																											
		A_Mg	B_Mg	C_Mg								X1		Y1	X2		Y2																										
	SW	0.090	13.412	0.675	SW	(Tabla 1)	(Tabla 2)	2.266	SW	-925.44	495.25	SW		0.542	0.968	0.767	0.987	1.194																									
	WSW	0.090	15.184	0.641	WSW			2.728	WSW	-1154.97	561.93	WSW		0.505	0.966	0.741	0.991	1.206																									
	W	0.090	13.734	0.613	W			2.941	W	-1221.04	555.91	W		0.438	0.985	0.640	0.992	1.188																									
	WNW	0.090	16.124	0.659	WNW			3.079	WNW	-1138.58	510.50	WNW		0.417	0.991	0.597	0.989	1.168																									
	NW	0.090	22.122	0.733	NW			3.286	NW	-1149.85	538.20	NW		0.328	0.994	0.487	0.993	1.152																									
	NNW	0.090	13.117	0.727	NNW			3.027	NNW	-573.22	313.92	NNW		0.312	0.997	0.498	0.989	1.177																									
	N	0.090	7.658	0.702	N			2.835	N	-341.00	216.35	N		0.342	0.996	0.528	0.989	1.177																									
	NNE	0.090	8.551	0.709	NNE			2.592	NNE	-408.48	274.53	NNE		0.373	0.989	0.571	0.991	1.186																									
NE	0.090	12.671	0.699	NE	2.935			NE	-595.75	411.00	NE	0.292	0.979	0.524	0.991	1.214																											
ESC	0.090	27.875	0.688	ESC	4.518			ESC	-2136.56	938.97	ESC	0.332	0.985	0.493	0.992	1.148																											
A FRECUENCIA MENSUAL DE TEMPORALES								B ALTURA DE RETORNO								C PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE								D MAGNITUD MÁS PROBABLE																			
	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ESC	R(años)	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ESC	R(años)	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ESC	R(años)	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ESC
ENE	0.15	0.18	0.22	0.23	0.19	0.12	0.09	0.08	0.06	0.1876	5	7.2	9.0	9.9	10.5	9.8	7.3	5.6	5.1	4.9	11.5	5	9.1	10.0	11.0	11.6	11.3	9.8	8.0	7.6	7.3	11.56	5	73	115	133	146	142	66	40	50	73	166
FEB	0.10	0.13	0.21	0.15	0.13	0.10	0.11	0.08	0.08	0.1557	10	7.9	10.0	10.9	11.6	10.8	8.1	6.1	5.5	5.4	12.5	10	9.4	10.3	11.0	11.9	11.9	10.1	8.0	7.9	7.6	11.86	10	94	150	215	180	175	80	50	60	94	244
MAR	0.09	0.11	0.10	0.11	0.12	0.15	0.15	0.10	0.11	0.1257	15	8.3	10.5	11.5	12.3	11.3	8.5	6.4	5.8	5.6	13.1	15	115	150	215	214	175	94	60	70	115	283	15	115	150	215	214	175	94	60	70	115	283
ABR	0.07	0.07	0.06	0.05	0.07	0.10	0.14	0.12	0.09	0.0659	25	8.8	11.2	12.3	13.1	12.0	9.1	6.8	6.1	5.9	13.8	25	9.7	10.6	11.3	11.9	11.9	10.4	8.3	7.9	7.6	12.16	25	136	185	256	248	208	108	70	80	115	322
MAY	0.06	0.05	0.02	0.03	0.03	0.06	0.06	0.10	0.08	0.024	50	9.4	12.2	13.3	14.3	13.0	9.8	7.3	6.5	6.3	14.8	50	10.0	10.9	11.3	12.2	12.2	10.4	8.3	8.2	7.9	12.16	50	178	220	338	282	274	136	80	100	157	361
JUN	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.08	0.10	0.00	100	10.0	13.1	14.3	15.4	13.9	10.6	7.8	6.9	6.7	15.8	100	10.3	11.2	11.6	12.2	12.5	10.7	8.3	8.5	8.2	12.46	100	199	290	379	316	207	164	100	120	178	439
JUL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07	0.11	0.002	150	10.4	13.6	14.9	16.1	14.5	11.0	8.1	7.2	6.9	16.4	150	10.6	11.8	11.9	12.5	12.8	11.0	8.6	8.8	8.5	12.76	150	220	290	420	350	340	178	110	130	199	478
AGO	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05	0.08	0.002	200	10.6	14.0	15.3	16.6	14.9	11.3	8.3	7.3	7.1	16.8	200	10.9	11.8	11.9	12.8	12.8	11.0	8.6	9.1	8.5	12.76	200	241	325	461	384	373	192	110	140	199	517
SEP	0.06	0.04	0.02	0.04	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.0259	250	10.8	14.3	15.6	17.0	15.2	11.6	8.4	7.5	7.2	17.1	250	10.9	11.8	11.9	12.8	12.8	11.3	8.6	9.1	8.8	12.76	250	262	325	461	384	373	192	120	140	220	517
OCT	0.12	0.11	0.09	0.09	0.11	0.09	0.08	0.05	0.04	0.0898	300	11.0	14.6	15.9	17.3	15.4	11.8	8.6	7.6	7.3	17.4	300	11.2	12.1	11.9	12.8	12.8	11.3	8.6	9.1	8.8	12.76	300	262	360	502	418	373	206	120	150	220	556
NOV	0.13	0.12	0.11	0.12	0.15	0.17	0.14	0.09	0.07	0.1357	400	11.2	15.0	16.3	17.7	15.8	12.1	8.8	7.8	7.5	17.8	400	11.2	12.1	11.9	12.8	13.1	11.3	8.6	9.1	8.8	13.06	400	283	360	543	452	406	206	130	160	241	595
DIC	0.15	0.16	0.17	0.17	0.17	0.14	0.12	0.09	0.08	0.1856	500	11.4	15.2	16.7	18.1	16.1	12.3	8.9	7.9	7.6	18.1	500	11.2	12.1	12.2	12.8	13.1	11.3	8.6	9.4	8.8	13.06	500	283	395	543	452	439	220	140	160	241	595

POSICIÓN 4. FACHADA ATLÁNTICA. FICHA 2



POSICIÓN 5. FACHADA ATLÁNTICA. FICHA 1.



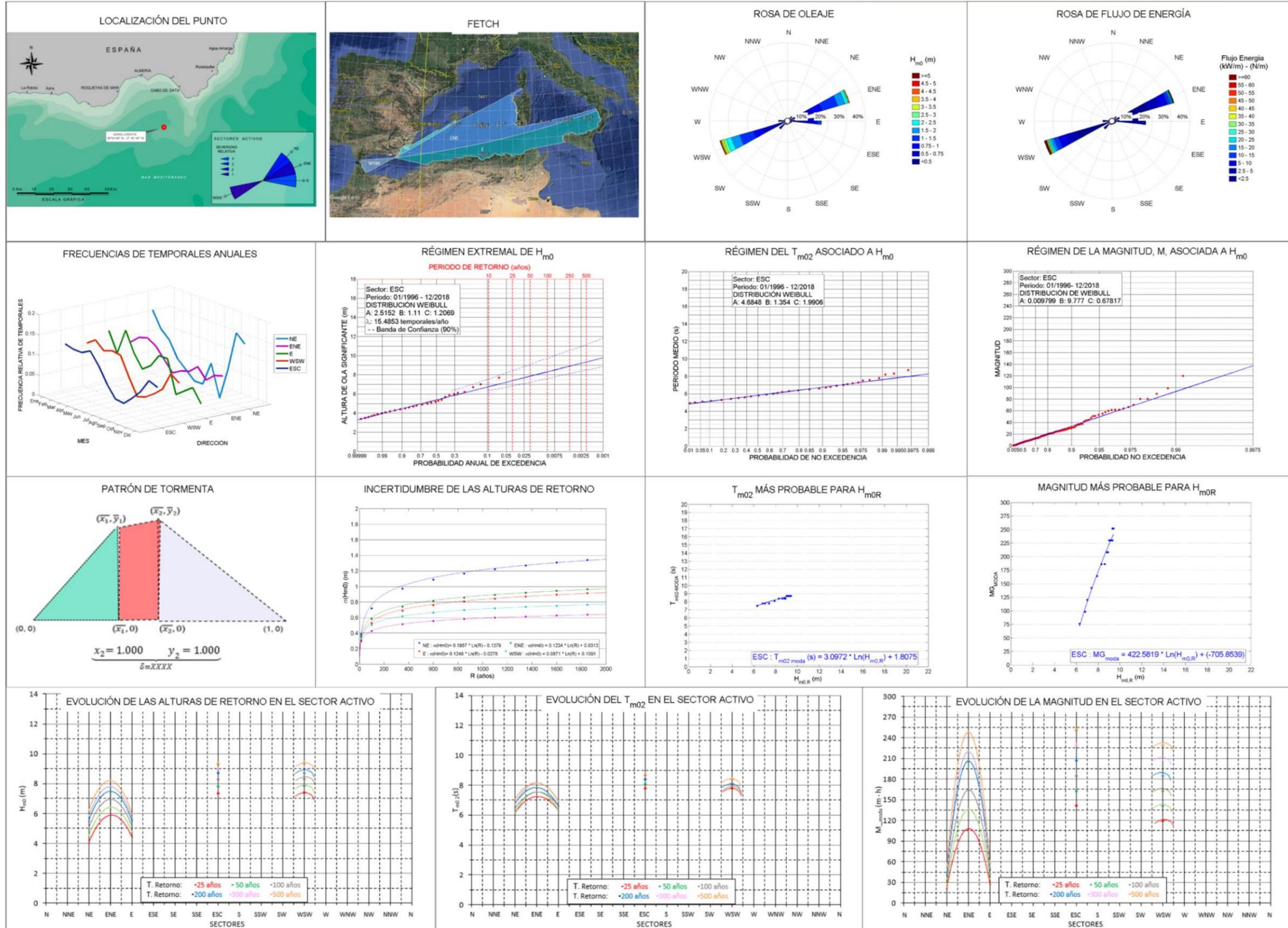
SIMAR 3002002 (longitud: 9.42W, latitud: 42.08N)
AGUAS PROFUNDAS. CONDICIONES EXTREMAS
PARTE B. CRITERIOS ROM - DISEÑO DE OBRAS



RÉGIMEN EXTREMAL de H _{m0} (WEIBULL)								PARÁMETROS ESPECTRO DIRECCIONAL																															
1	SECTOR	H _{m0_u_tor} (m)	λ (temp/año)	Weibull F(H _{m0})			σ _{H_{m0}}		9	SECTOR	ESPECTRO JONSWAP				DISPERSION ANGULAR MGS																								
				A _{H_{m0}}	B _{H_{m0}}	C _{H_{m0}}	A _{σ_{H_{m0}}}	B _{σ_{H_{m0}}}			PARAMETRO APUNTAMIENTO (γ)				PARAMETRO DISPERSIÓN (S _{MAX})																								
											MEDIA	MAX	MIN	DES	MEDIA	MAX	MIN	DES																					
	SSW	4.0	1.505	3.981	0.991	1.356	-0.0274	0.0894		SSW	4.15	5.16	3.02	0.42	10.78	54.97	1.91	8.55																					
	SW	4.5	2.111	4.575	0.907	0.988	-0.0758	0.1558		SW	3.72	4.87	2.48	0.51	16.97	70.52	2.04	13.82																					
	WSW	5.0	2.266	5.084	1.231	0.886	-0.2140	0.2974		WSW	3.29	4.48	2.31	0.47	22.69	74.94	3.65	14.55																					
	W	5.0	3.443	5.084	1.411	0.968	0.0588	0.2251		W	3.05	4.52	2.24	0.36	29.84	65.70	3.72	13.95																					
	WNW	5.0	4.498	5.079	1.453	1.029	0.0097	0.1658		WNW	2.98	3.90	2.28	0.30	32.58	70.46	7.15	12.99																					
	NW	5.0	4.204	5.045	1.449	1.091	0.0279	0.1424		NW	2.96	3.97	2.22	0.31	34.19	80.87	5.64	14.48																					
	NNW	3.5	3.910	3.57	1.014	1.036	0.0350	0.1171		NNW	3.37	4.98	2.49	0.46	37.81	79.30	4.85	17.22																					
N	2.0	5.727	2.057	0.469	1.06	0.0161	0.0416	N	4.72	7.53	2.63	0.90	29.96	112.00	0.95	22.31																							
ESC	5.0	8.599	5.067	1.529	1.032	0.0723	0.1274	ESC	3.08	4.57	2.22	0.38	32.69	80.87	2.04	14.91																							
2	RÉGIMEN CONCOMITANTE T _{m02}			PARÁMETRO DEPENDENCIA H _{m0} -T _{m02}				PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE (para H _{m0_R})				8	PATRÓN DE TORMENTA																										
	SECTOR	Weibull F(T _{m02})			SECTOR	F(H _{m0})	F(T _{m02})	Dep	SECTOR	a _{T_{m02}}	b _{T_{m02}}		ESPECTRO JONSWAP				DISPERSION ANGULAR MGS																						
		A _{T_{m02}}	B _{T_{m02}}	C _{T_{m02}}									PARAMETRO APUNTAMIENTO (γ)				PARAMETRO DISPERSIÓN (S _{MAX})																						
													MEDIA	MAX	MIN	DES	MEDIA	MAX	MIN	DES																			
SSW	5.943	1.174	1.985	SSW			2.389	SSW	0.980	3.800	SSW		4.15	5.16	3.02	0.42	10.78	54.97	1.91	8.55																			
SW	6.383	1.382	1.956	SW			2.620	SW	1.730	3.480	SW		3.72	4.87	2.48	0.51	16.97	70.52	2.04	13.82																			
WSW	6.882	1.803	1.903	WSW	A _{H_{m0}}	A _{T_{m02}}	2.811	WSW	2.750	3.260	WSW		3.29	4.48	2.31	0.47	22.69	74.94	3.65	14.55																			
W	7.266	1.943	1.821	W	B _{H_{m0}}	B _{T_{m02}}	2.269	W	1.190	4.240	W		3.05	4.52	2.24	0.36	29.84	65.70	3.72	13.95																			
WNW	7.582	2.100	1.695	WNW	C _{H_{m0}}	C _{T_{m02}}	1.573	WNW	-1.800	5.840	WNW		2.98	3.90	2.28	0.30	32.58	70.46	7.15	12.99																			
NW	7.082	2.910	2.351	NW	(Tabla 1)	(Tabla 2)	1.289	NW	-0.880	5.440	NW		2.96	3.97	2.22	0.31	34.19	80.87	5.64	14.48																			
NNW	5.830	2.538	1.887	NNW			1.427	NNW	-1.230	5.940	NNW	3.37	4.98	2.49	0.46	37.81	79.30	4.85	17.22																				
N	4.285	1.133	1.776	N			1.757	N	1.790	3.570	N	4.72	7.53	2.63	0.90	29.96	112.00	0.95	22.31																				
ESC	6.882	2.819	2.129	ESC			1.485	ESC	-0.830	5.320	ESC	3.08	4.57	2.22	0.38	32.69	80.87	2.04	14.91																				
3	RÉGIMEN CONCOMITANTE M			PARÁMETRO DEPENDENCIA H _{m0} -T _{m02}				MAGNITUD MÁS PROBABLE (para H _{m0_R})				8	PATRÓN DE TORMENTA																										
	SECTOR	Weibull F(Mg)			SECTOR	F(H _{m0})	F(Mg)	Dep	SECTOR	a _{Mg}	b _{Mg}		ESPECTRO JONSWAP				DISPERSION ANGULAR MGS																						
		A _{Mg}	B _{Mg}	C _{Mg}									PARAMETRO APUNTAMIENTO (γ)				PARAMETRO DISPERSIÓN (S _{MAX})																						
													MEDIA	MAX	MIN	DES	MEDIA	MAX	MIN	DES																			
	SSW	0.090	4.141	0.702	SSW			2.354	SSW	-251.70	147.85		SSW	4.15	5.16	3.02	0.42	10.78	54.97	1.91	8.55																		
	SW	0.090	5.260	0.688	SW			2.578	SW	-269.26	146.22		SW	3.72	4.87	2.48	0.51	16.97	70.52	2.04	13.82																		
	WSW	0.090	9.596	0.656	WSW	A _{H_{m0}}	A _{Mg}	2.761	WSW	-523.29	250.83		WSW	3.29	4.48	2.31	0.47	22.69	74.94	3.65	14.55																		
	W	0.090	15.231	0.659	W	B _{H_{m0}}	B _{Mg}	2.818	W	-962.25	451.36		W	3.05	4.52	2.24	0.36	29.84	65.70	3.72	13.95																		
	WNW	0.090	17.883	0.709	WNW	C _{H_{m0}}	C _{Mg}	3.040	WNW	-954.66	455.00		WNW	2.98	3.90	2.28	0.30	32.58	70.46	7.15	12.99																		
	NW	0.090	19.170	0.742	NW	(Tabla 1)	(Tabla 2)	3.174	NW	-1007.75	484.72		NW	2.96	3.97	2.22	0.31	34.19	80.87	5.64	14.48																		
NNW	0.090	12.745	0.798	NNW			3.107	NNW	-410.33	238.35	NNW	3.37	4.98	2.49	0.46	37.81	79.30	4.85	17.22																				
N	0.090	4.439	0.759	N			2.780	N	-120.99	110.20	N	4.72	7.53	2.63	0.90	29.96	112.00	0.95	22.31																				
ESC	0.090	26.971	0.683	ESC			4.515	ESC	-1947.36	890.32	ESC	3.08	4.57	2.22	0.38	32.69	80.87	2.04	14.91																				
A FRECUENCIA MENSUAL DE TEMPORALES										B ALTURA DE RETORNO										C PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE										D MAGNITUD MÁS PROBABLE									
	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	ESC	R(años)	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	ESC	R(años)	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	ESC	R(años)	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	ESC
ENE	0.21	0.20	0.24	0.23	0.23	0.21	0.09	0.04	0.20	5	5.7	6.7	8.4	9.2	9.5	9.1	6.5	3.5	10.6	5	7.6	8.6	9.7	10.4	11.3	11.3	9.8	6.2	11.9	5	10	15	30	70	85	82	40	19	198
FEB	0.15	0.13	0.17	0.23	0.17	0.13	0.11	0.05	0.14	10	6.1	7.4	9.5	10.3	10.4	9.9	7.1	3.8	11.6	10	7.9	8.6	10.0	10.7	11.9	11.6	10.4	6.5	12.2	10	14	25	50	90	110	100	55	28	245
MAR	0.07	0.09	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.06	0.12	15	6.3	7.8	10.2	10.9	11.0	10.4	7.5	4.0	12.1	15	7.9	8.9	10.3	11.0	11.9	11.9	10.4	6.8	12.5	15	18	30	50	110	135	118	70	28	245
ABR	0.05	0.06	0.08	0.06	0.05	0.07	0.11	0.12	0.07	25	6.6	8.2	11.0	11.7	11.7	11.0	8.0	4.2	12.9	25	8.2	8.9	10.6	11.0	12.2	12.2	10.7	6.8	12.5	25	24	35	70	130	160	154	85	37	292
MAY	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.10	0.03	50	6.9	8.9	12.2	12.8	12.6	11.8	8.6	4.5	13.8	50	8.5	8.9	10.9	11.3	12.5	12.2	11.0	7.1	12.8	50	30	45	90	170	185	172	100	46	386
JUN	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.11	0.00	100	7.2	9.5	13.4	13.8	13.5	12.6	9.3	4.7	14.8	100	8.5	9.2	11.2	11.3	12.5	12.5	11.3	7.4	13.1	100	38	55	110	210	210	208	115	46	433
JUL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	150	7.4	9.9	14.1	14.4	14.1	13.0	9.6	4.9	15.4	150	8.8	9.2	11.5	11.6	12.8	12.8	11.3	7.4	13.1	150	42	65	130	230	235	226	130	55	480
AGO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	200	7.6	10.2	14.6	14.9	14.5	13.4	9.9	5.0	15.8	200	8.8	9.2	11.5	11.6	12.8	12.8	11.6	7.4	13.1	200	46	70	150	250	260	244	130	55	480
SEP	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.05	0.09	0.02	250	7.7	10.4	15.0	15.2	14.8	13.6	10.1	5.1	16.1	250	8.8	9.2	11.5	11.6	12.8	12.8	11.6	7.7	13.4	250	50	70	150	270	260	262	145	55	527
OCT	0.15	0.11	0.06	0.08	0.09	0.09	0.10	0.04	0.10	300	7.8	10.6	15.3	15.5	15.0	13.8	10.3	5.2	16.3	300	8.8	9.2	11.5	11.6	12.8	12.8	11.6	7.7	13.4	300	52	75	170	270	285	262	145	64	527
NOV	0.16	0.17	0.08	0.10	0.12	0.15	0.19	0.07	0.14	400	7.9	10.8	15.8	16.0	15.4	14.2	10.5	5.3	16.7	400	8.8	9.2	11.8	11.6	13.1	12.8	11.6	7.7	13.4	400	54	80	170	290	285	280	145	64	574
DIC	0.18	0.20	0.22	0.18	0.18	0.16	0.14	0.06	0.17	500	8.0	11.1	16.2	16.3	15.7	14.4	10.7	5.4	17.0	500	9.1	9.5	11.8	11.6	13.1	13.1	11.9	7.7	13.4	500	58	85	190	310	310	298	160	64	574

POSICIÓN 5. FACHADA ATLÁNTICA. FICHA 2.

B.FACHADA MEDITERRÁNEA



POSICIÓN 6. FACHADA MEDITERRÁNEA. FICHA 1.

RÉGIMEN EXTREMAL de H_{m0} (WEIBULL)

SECTOR	H _{m0_u_tor} (m)	λ (temp/añ)	Weibull F(H _{m0})			σ _{H_{m0}}	
			A _{H_{m0}}	B _{H_{m0}}	C _{H_{m0}}	A _{σ_{H_{m0}}}	B _{σ_{H_{m0}}}
NE	1.50	2.30	1.588	0.503	0.879	-0.138	0.196
ENE	2.00	7.09	2.083	0.695	0.967	0.031	0.123
E	2.00	2.80	2.064	0.611	1.063	-0.028	0.125
WSW	2.50	11.87	2.495	1.202	1.231	0.109	0.087
ESC	2.50	15.49	2.515	1.110	1.207	0.104	0.071

PARÁMETROS ESPECTRO DIRECCIONAL

SECTOR	ESPECTRO JONSWAP				DISPERSION ANGULAR MGS			
	PARAMETRO APUNTAMIENTO (γ)				PARAMETRO DISPERSIÓN (S _{MAX})			
	MEDIA	MAX	MIN	DES	MEDIA	MAX	MIN	DES
NE	5.60	8.30	3.29	1.12	19.41	97.34	0.89	18.19
ENE	4.99	6.90	3.34	0.61	15.62	62.97	1.35	10.29
E	5.42	6.90	3.87	0.56	10.12	39.09	1.10	6.50
WSW	4.81	6.48	3.60	0.45	9.17	34.16	1.31	4.28
ESC	4.80	6.38	3.29	0.48	10.06	62.97	1.21	6.76

RÉGIMEN CONCOMITANTE T_{mo2}

SECTOR	Weibull F(T _{mo2})		
	A _{T_{mo2}}	B _{T_{mo2}}	C _{T_{mo2}}
NE	3.578	1.030	1.610
ENE	4.385	0.955	1.519
E	4.085	1.136	2.144
WSW	4.685	1.454	2.232
ESC	4.685	1.354	1.991

PARÁMETRO DEPENDENCIA H_{m0}-T_{mo2}

SECTOR	F(H _{m0})	F(T _{mo2})	Dep
NE	A _{H_{m0}}	A _{T_{mo2}}	3.30
ENE	B _{H_{m0}}	B _{T_{mo2}}	3.03
E	C _{H_{m0}}	C _{T_{mo2}}	2.56
WSW	(Tabla 1)	(Tabla 2)	3.86
ESC			3.40

PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE (para H_{m0_R})

SECTOR	a _{T_{mo2}}	b _{T_{mo2}}
NE	2.600	2.420
ENE	2.320	2.770
E	2.810	2.300
WSW	3.020	2.430
ESC	1.810	3.100

RÉGIMEN CONCOMITANTE M

SECTOR	Weibull F(Mg)		
	A _{Mg}	B _{Mg}	C _{Mg}
NE	0.090	2.603	0.631
ENE	0.079	8.104	0.611
E	0.014	4.349	0.757
WSW	0.000	10.401	0.697
ESC	0.010	9.777	0.678

PARÁMETRO DEPENDENCIA H_{m0}-M

SECTOR	F(H _{m0})	F(Mg)	Dep
NE	A _{H_{m0}}	A _{Mg}	2.15
ENE	B _{H_{m0}}	B _{Mg}	3.25
E	C _{H_{m0}}	C _{Mg}	3.36
WSW	(Tabla 1)	(Tabla 2)	3.41
ESC			3.50

MAGNITUD MÁS PROBABLE (para H_{m0_R})

SECTOR	a _{Mg}	b _{Mg}
NE	-65.27	63.39
ENE	-490.80	345.75
E	-99.99	87.41
WSW	-648.93	387.11
ESC	-705.85	422.58

PATRÓN DE TORMENTA

SECTOR	PATRON TORMENTA				δ
	X1	Y1	X2	Y2	
NE	0.52485	0.99033	0.71019	0.98061	1.1693
ENE	0.39421	0.97029	0.63473	0.96876	1.2027
E	0.51836	0.97739	0.7572	0.95669	1.2009
WSW	0.4307	0.96782	0.65093	0.94745	1.1694
ESC	0.42131	0.96995	0.64475	0.95249	1.1766

A FRECUENCIA MENSUAL DE TEMPORALES

MES	NE	ENE	E	WSW	ESC
ENE	0.16	0.09	0.13	0.11	0.12
FEB	0.12	0.11	0.08	0.13	0.11
MAR	0.10	0.11	0.15	0.11	0.11
ABR	0.06	0.10	0.10	0.11	0.13
MAY	0.04	0.08	0.06	0.11	0.10
JUN	0.02	0.05	0.08	0.06	0.06
JUL	0.02	0.06	0.11	0.02	0.03
AGO	0.08	0.07	0.11	0.03	0.03
SEP	0.00	0.09	0.03	0.05	0.05
OCT	0.08	0.06	0.05	0.06	0.07
NOV	0.18	0.08	0.06	0.11	0.10
DIC	0.16	0.09	0.03	0.10	0.10

B ALTURA DE RETORNO

R(años)	NE	ENE	E	WSW	ESC
5	3.0	4.7	3.6	6.3	6.3
10	3.4	5.2	4.0	6.8	6.8
15	3.7	5.5	4.2	7.1	7.0
25	4.1	5.9	4.5	7.4	7.4
50	4.5	6.4	4.8	7.9	7.9
100	5.0	7.0	5.2	8.4	8.3
150	5.3	7.3	5.4	8.7	8.6
200	5.5	7.5	5.5	8.9	8.8
250	5.7	7.7	5.7	9.0	8.9
300	5.8	7.8	5.7	9.1	9.0
400	6.1	8.0	5.9	9.3	9.2
500	6.2	8.2	6.0	9.5	9.3

C PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE

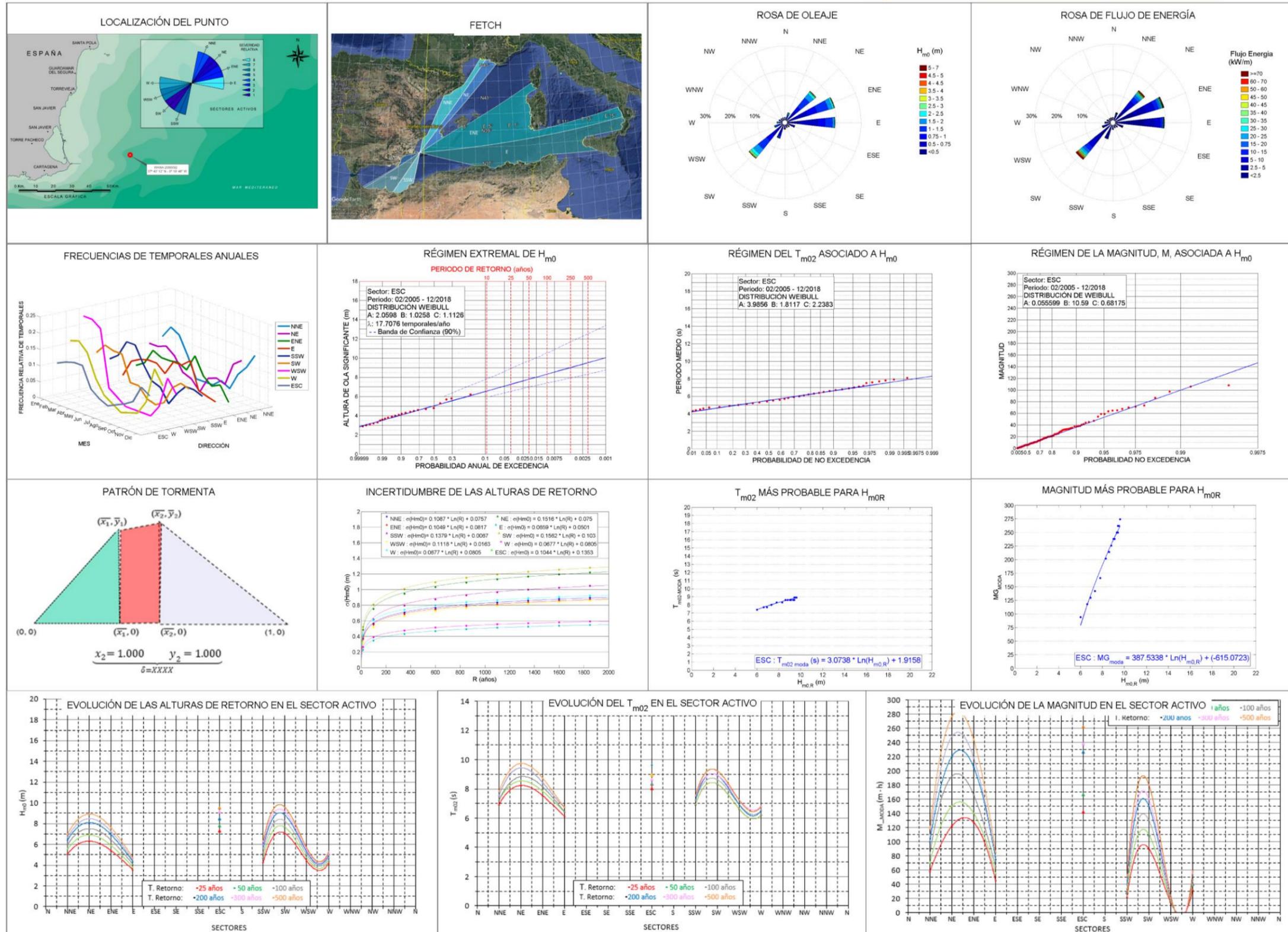
R(años)	NE	ENE	E	WSW	ESC
5	5.2	6.6	5.7	7.5	7.5
10	5.5	6.9	6.0	7.5	7.8
15	5.8	6.9	6.0	7.8	7.8
25	6.1	7.2	6.3	7.8	7.8
50	6.1	7.5	6.3	8.1	8.1
100	6.4	7.5	6.6	8.1	8.4
150	6.7	7.8	6.6	8.1	8.4
200	6.7	7.8	6.6	8.4	8.4
250	6.7	7.8	6.6	8.4	8.4
300	6.7	8.1	6.9	8.4	8.7
400	7.0	8.1	6.9	8.4	8.7
500	7.0	8.1	6.9	8.4	8.7

D MAGNITUD MÁS PROBABLE

R(años)	NE	ENE	E	WSW	ESC
5	10	66	16	76	76
10	14	80	19	98	98
15	14	94	25	98	120
25	22	108	28	120	142
50	26	136	34	142	164
100	34	164	43	164	186
150	38	192	46	186	186
200	42	206	49	186	208
250	46	206	52	208	208
300	46	220	52	208	230
400	50	234	55	208	230
500	54	248	58	230	252

Puertos del Estado

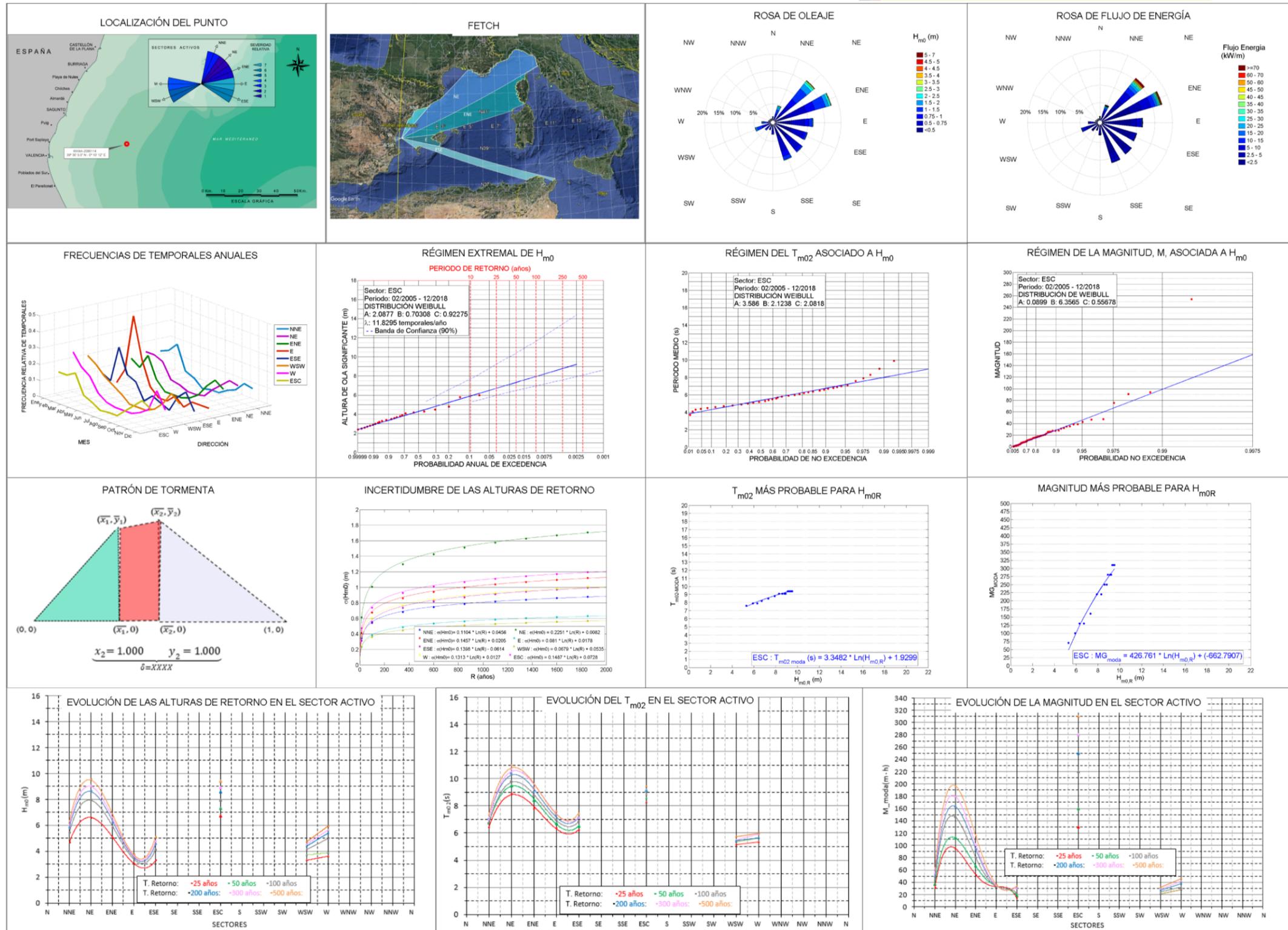
WANA 2080092 (longitud: 0.33W, latitud: 37.67N)
AGUAS PROFUNDAS. CONDICIONES EXTREMAS
PARTE B. CRITERIOS ROM - DISEÑO DE OBRAS



POSICIÓN 7. FACHADA MEDITERRÁNEA. FICHA 1.

RÉGIMEN EXTREMAL de H _{m0} (WEIBULL)									PARÁMETROS ESPECTRO DIRECCIONAL													
1	SECTOR	H _{m0_u_tor} (m)	λ (temp/año)	Weibull F(H _{m0})			σ_H _{m0}		9	ESPECTRO JONSWAP				DISPERSION ANGULAR MGS								
	A_H _{m0}	B_H _{m0}	C_H _{m0}	A_σH _{m0}	B_σH _{m0}	PARAMETRO APUNTAMIENTO (γ)				PARAMETRO DISPERSIÓN (S _{MAX})												
	MEDIA	MAX	MIN	DES	MEDIA	MAX	MIN	DES														
	NNE	1.25	9.55	1.274	0.799	1.085	0.076	0.109		5.26	8.85	3.08	1.16	30.06	107.09	1.45	26.08					
	NE	1.75	10.51	1.762	0.746	0.950	0.075	0.152		4.90	6.48	3.20	0.74	19.33	85.12	2.20	18.33					
	ENE	1.25	16.83	1.266	0.599	0.933	0.082	0.105		5.65	7.97	3.41	0.88	22.49	99.56	3.38	19.02					
	E	1.25	9.77	1.260	0.465	1.071	0.050	0.066		5.64	9.47	4.27	0.71	24.73	70.58	0.46	12.81					
	SSW	1.25	7.20	1.273	0.456	0.874	0.007	0.138		5.88	10.48	3.27	1.04	21.95	117.89	0.16	18.21					
	SW	2.00	9.33	2.060	1.039	1.079	0.103	0.156		4.82	6.19	3.36	0.56	15.34	52.72	4.24	9.23					
	WSW	2.00	3.82	2.067	0.650	1.182	0.016	0.112		4.16	6.68	3.16	0.78	40.08	67.11	2.34	16.16					
W	1.25	8.52	1.188	0.913	1.424	0.081	0.068	5.65	9.25	3.36	1.58	28.83	81.90	0.19	25.54							
ESC	2.00	17.71	2.060	1.026	1.113	0.135	0.104	4.99	8.30	3.20	0.79	14.16	85.12	0.05	12.10							
2	RÉGIMEN CONCOMITANTE T _{m02}				PARÁMETRO DEPENDENCIA H _{m0} -T _{m02}				PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE (para H _{m0_R})			8	PATRÓN DE TORMENTA									
	SECTOR	Weibull F(T _{m02})			SECTOR	F(H _{m0})	F(T _{m02})	Dep	SECTOR	a_T _{m02}	b_T _{m02}		SECTOR	X1	Y1	X2	Y2	δ				
	NNE	3.183	1.790	2.265	NNE	A_H _{m0}	A_T _{m02}	2.55	NNE	2.680	2.600		NNE	0.46907	0.97863	0.69803	0.98089	1.2039				
	NE	4.185	1.200	1.382	NE			2.52	NE	0.340	4.300		NE	0.36493	0.98309	0.57285	0.97146	1.1801				
ENE	3.486	1.302	1.575	ENE	3.12			ENE	1.850	3.370	ENE		0.39239	0.97932	0.60481	0.98134	1.1886					
E	2.987	1.756	2.719	E	2.17			E	3.850	1.880	E		0.42389	0.9901	0.64718	0.9832	1.2072					
SSW	2.587	2.236	2.514	SSW	1.73	SSW	3.430	2.260	SSW	0.55339	0.97655		0.77971	0.97532	1.197							
SW	4.585	1.281	1.648	SW	3.38	SW	1.270	3.520	SW	0.40887	0.97402		0.62491	0.95576	1.1737							
WSW	4.083	1.299	2.233	WSW	2.54	WSW	2.330	2.840	WSW	0.44941	0.98477	0.65527	0.97952	1.1846								
W	3.059	1.495	2.298	W	3.10	W	1.930	2.940	W	0.41535	0.98073	0.66966	0.96456	1.2207								
ESC	3.986	1.812	2.238	ESC	3.60	ESC	1.920	3.070	ESC	0.33931	0.97	0.54142	0.96673	1.1639								
3	RÉGIMEN CONCOMITANTE M				PARÁMETRO DEPENDENCIA H _{m0} -M				MAGNITUD MÁS PROBABLE (para H _{m0_R})			D	MAGNITUD MÁS PROBABLE									
	SECTOR	Weibull F(Mg)			SECTOR	A_H _{m0}	A_Mg	SECTOR	a_Mg	b_Mg	R(años)		NNE	NE	ENE	E	SSW	SW	WSW	W	ESC	
	NNE	0.085	4.472	0.646	NNE	A_H _{m0}	A_Mg	2.58	NNE	-197.01	159.86		5	6.3	7.3	6.6	5.8	6.0	7.4	6.0	5.6	7.4
	NE	0.080	5.850	0.555	NE			3.86	NE	-542.24	368.42		10	6.6	7.6	7.2	6.1	6.3	7.7	6.3	5.9	7.7
	ENE	0.079	6.240	0.598	ENE			3.19	ENE	-378.88	301.68		15	6.6	7.9	7.2	6.1	6.6	8.0	6.3	5.9	7.7
	E	0.090	4.071	0.690	E			2.45	E	-119.84	132.59		25	6.9	8.2	7.5	6.1	6.6	8.0	6.6	6.2	8.0
	SSW	0.068	1.709	0.615	SSW			2.46	SSW	-60.98	59.03		50	7.2	8.5	7.8	6.4	6.9	8.3	6.6	6.2	8.3
	SW	0.025	8.549	0.700	SW			4.07	SW	-375.64	242.71		100	7.2	8.8	8.1	6.4	7.2	8.6	6.9	6.5	8.3
	WSW	0.000	3.097	0.967	WSW			2.08	WSW	-38.25	35.60		150	7.5	9.1	8.1	6.4	7.2	8.9	6.9	6.5	8.6
	W	0.084	3.260	0.699	W			2.09	W	-119.05	107.60		200	7.5	9.4	8.4	6.7	7.2	8.9	6.9	6.5	8.6
ESC	0.056	10.590	0.682	ESC	3.59			ESC	-615.07	387.53	250	7.5	9.4	8.4	6.7	7.5	8.9	7.2	6.5	8.6		
250	7.5	9.4	8.4	6.7	7.5			8.9	7.2	6.5	8.6	300	7.5	9.4	8.4	6.7	7.5	8.9	7.2	6.8	8.6	
400	7.5	9.7	8.7	6.7	7.5	9.2	7.2	6.8	8.6	400	7.5	9.7	8.7	6.7	7.5	9.2	7.2	6.8	8.6			
500	7.8	9.7	8.7	6.7	7.5	9.2	7.2	6.8	8.9	500	7.8	9.7	8.7	6.7	7.5	9.2	7.2	6.8	8.9			
A FRECUENCIA MENSUAL DE TEMPORALES											B ALTURA DE RETORNO											
MES	NNE	NE	ENE	E	SSW	SW	WSW	W	ESC	R(años)	NNE	NE	ENE	E	SSW	SW	WSW	W	ESC			
ENE	0.13	0.17	0.10	0.14	0.11	0.10	0.07	0.12	0.16	5	4.1	4.9	4.2	2.9	3.2	5.7	3.7	3.5	6.0			
FEB	0.17	0.15	0.14	0.08	0.11	0.09	0.08	0.07	0.14	10	4.5	5.5	4.7	3.2	3.7	6.3	4.0	3.8	6.6			
MAR	0.12	0.12	0.13	0.15	0.14	0.16	0.13	0.10	0.11	15	4.8	5.9	5.0	3.4	3.9	6.6	4.2	4.0	6.9			
ABR	0.08	0.07	0.08	0.10	0.15	0.14	0.12	0.15	0.14	25	5.1	6.3	5.4	3.5	4.3	7.1	4.4	4.2	7.3			
MAY	0.07	0.03	0.02	0.04	0.05	0.09	0.12	0.08	0.06	50	5.6	6.9	5.9	3.8	4.7	7.7	4.7	4.4	7.8			
JUN	0.03	0.01	0.04	0.04	0.02	0.02	0.07	0.04	0.02	100	6.0	7.5	6.4	4.1	5.2	8.2	5.0	4.7	8.3			
JUL	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.04	0.05	0.02	0.01	150	6.2	7.9	6.7	4.2	5.5	8.6	5.2	4.8	8.6			
AGO	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.00	0.01	200	6.4	8.1	6.9	4.3	5.7	8.8	5.3	4.9	8.8			
SEP	0.04	0.02	0.03	0.04	0.06	0.03	0.05	0.05	0.03	250	6.6	8.3	7.1	4.4	5.8	9.0	5.4	5.0	9.0			
OCT	0.05	0.10	0.10	0.08	0.06	0.10	0.10	0.11	0.08	300	6.7	8.5	7.2	4.5	6.0	9.2	5.5	5.1	9.1			
NOV	0.14	0.14	0.16	0.13	0.11	0.13	0.11	0.17	0.14	400	6.9	8.7	7.4	4.6	6.2	9.4	5.6	5.2	9.4			
DIC	0.17	0.17	0.15	0.15	0.17	0.09	0.08	0.08	0.12	500	7.0	8.9	7.6	4.7	6.3	9.6	5.7	5.2	9.5			

POSICIÓN 7. FACHADA MEDITERRÁNEA. FICHA 2.



POSICIÓN 8. FACHADA MEDITERRÁNEA. FICHA 1.

RÉGIMEN EXTREMAL de H_{m0} (WEIBULL)

SECTOR	H _{m0_u_tor} (m)	λ (temp/añ)	Weibull F(H _{m0})			σ _{Hm0}	
			A_H _{m0}	B_H _{m0}	C_H _{m0}	A_σH _{m0}	B_σH _{m0}
NNE	1.75	6.47	1.770	0.633	1.062	0.046	0.110
NE	2.00	6.32	2.085	0.782	0.923	0.008	0.225
ENE	2.00	3.97	2.069	0.790	1.145	0.021	0.146
E	1.50	1.47	1.359	0.796	1.690	0.018	0.081
ESE	1.25	3.01	1.254	0.355	0.886	-0.064	0.996
WSW	1.25	8.23	1.287	0.541	1.145	0.054	0.068
W	1.30	5.95	1.350	0.526	0.958	0.013	0.131
ESC	2.00	11.83	2.088	0.703	0.923	0.073	0.149

PARÁMETROS ESPECTRO DIRECCIONAL

SECTOR	ESPECTRO JONSWAP				DISPERSION ANGULAR MGS			
	PARAMETRO APUNTAMIENTO (γ)				PARAMETRO DISPERSIÓN (S _{MAX})			
	MEDIA	MAX	MIN	DES	MEDIA	MAX	MIN	DES
NNE	5.14	7.02	3.14	0.82	21.32	84.95	0.62	17.29
NE	4.42	6.29	3.02	0.88	31.21	84.95	2.12	24.83
ENE	4.31	5.62	3.29	0.60	33.02	74.78	6.81	21.26
E	4.95	7.02	3.52	1.01	35.03	91.62	6.16	28.12
ESE	4.93	8.47	3.34	1.25	50.05	101.50	0.95	29.24
WSW	7.10	8.84	3.34	0.89	6.31	89.64	0.25	13.15
W	6.96	11.76	3.34	1.04	6.27	62.87	0.01	10.42
ESC	4.92	7.67	3.02	1.01	21.69	84.95	0.75	21.64

1

9

RÉGIMEN CONCOMITANTE T_{m02}

SECTOR	Weibull F(T _{m02})		
	A_T _{m02}	B_T _{m02}	C_T _{m02}
NNE	3.886	1.196	1.998
NE	4.554	1.446	1.366
ENE	4.673	1.568	1.672
E	3.542	1.510	1.834
ESE	3.083	1.322	1.659
WSW	3.186	0.872	2.059
W	2.465	1.771	3.112
ESC	3.586	2.124	2.082

PARÁMETRO DEPENDENCIA H_{m0}-T_{m02}

SECTOR	F(H _{m0})	F(T _{m02})	Dep
NNE	A_H _{m0}	A_T _{m02}	2.67
NE			1.73
ENE			1.24
E	B_H _{m0}	B_T _{m02}	2.42
ESE	C_H _{m0}	C_T _{m02}	1.87
WSW	(Tabla 1)	(Tabla 2)	3.39
W			3.48
ESC			1.68

5

7

PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE (para H_{m0_R})

SECTOR	a_T _{m02}	b_T _{m02}
NNE	2.670	2.490
NE	-0.750	5.160
ENE	-2.330	6.220
E	1.030	4.950
ESE	2.750	3.020
WSW	2.980	1.670
W	3.370	1.430
ESC	1.930	3.350

PATRÓN DE TORMENTA

SECTOR	PATRON TORMENTA				δ
	X1	Y1	X2	Y2	
NNE	0.51114	0.97714	0.73032	0.96485	1.1853
NE	0.38435	0.98228	0.58147	0.96963	1.1681
ENE	0.39905	0.97773	0.58581	0.98114	1.1624
E	0.42247	0.98343	0.60567	0.97998	1.1616
ESE	0.54567	0.98231	0.70129	0.98889	1.1382
WSW	0.45462	0.98045	0.702	0.96465	1.2144
W	0.46305	0.99471	0.66356	0.96602	1.1788
ESC	0.35574	0.96899	0.57231	0.97145	1.1804

8

RÉGIMEN CONCOMITANTE M

SECTOR	Weibull F(Mg)		
	A_Mg	B_Mg	C_Mg
NNE	0.090	3.145	0.699
NE	0.090	7.507	0.632
ENE	0.088	6.517	0.695
E	0.090	5.060	0.649
ESE	0.090	1.615	0.626
WSW	0.089	2.547	0.826
W	0.069	2.518	0.704
ESC	0.090	6.356	0.557

PARÁMETRO DEPENDENCIA H_{m0}-M

SECTOR	F(H _{m0})	F(Mg)	Dep
NNE	A_H _{m0}	A_Mg	2.58
NE			3.91
ENE			2.60
E	B_H _{m0}	B_Mg	2.68
ESE	C_H _{m0}	C_Mg	2.06
WSW	(Tabla 1)	(Tabla 2)	2.09
W			2.18
ESC			4.04

6

7

A FRECUENCIA MENSUAL DE TEMPORALES

MES	NNE	NE	ENE	E	ESE	WSW	W	ESC
ENE	0.14	0.15	0.13	0.00	0.08	0.21	0.25	0.14
FEB	0.16	0.15	0.09	0.10	0.05	0.17	0.17	0.14
MAR	0.22	0.13	0.19	0.45	0.28	0.12	0.14	0.17
ABR	0.07	0.03	0.06	0.20	0.13	0.08	0.05	0.06
MAY	0.05	0.02	0.00	0.05	0.10	0.04	0.01	0.03
JUN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
JUL	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01
AGO	0.01	0.01	0.02	0.05	0.03	0.00	0.00	0.01
SEP	0.05	0.07	0.06	0.00	0.00	0.03	0.02	0.06
OCT	0.07	0.12	0.13	0.05	0.10	0.08	0.06	0.11
NOV	0.13	0.16	0.19	0.05	0.15	0.16	0.20	0.16
DIC	0.11	0.15	0.15	0.05	0.05	0.12	0.10	0.12

B ALTURA DE RETORNO

R(años)	NNE	NE	ENE	E	ESE	WSW	W	ESC
5	3.8	5.1	4.1	2.6	2.4	3.0	3.2	5.3
10	4.2	5.7	4.5	2.8	2.7	3.3	3.6	5.9
15	4.4	6.1	4.8	2.9	2.9	3.4	3.9	6.3
25	4.7	6.6	5.1	3.1	3.1	3.6	4.2	6.7
50	5.1	7.3	5.5	3.2	3.4	3.9	4.6	7.3
100	5.5	8.0	5.8	3.4	3.8	4.1	5.0	8.0
150	5.7	8.4	6.1	3.5	4.0	4.3	5.2	8.3
200	5.8	8.7	6.2	3.6	4.1	4.4	5.4	8.6
250	5.9	8.9	6.3	3.6	4.3	4.5	5.5	8.8
300	6.0	9.1	6.4	3.7	4.3	4.6	5.7	8.9
400	6.2	9.4	6.6	3.7	4.5	4.7	5.8	9.2
500	6.3	9.6	6.7	3.8	4.6	4.7	6.0	9.4

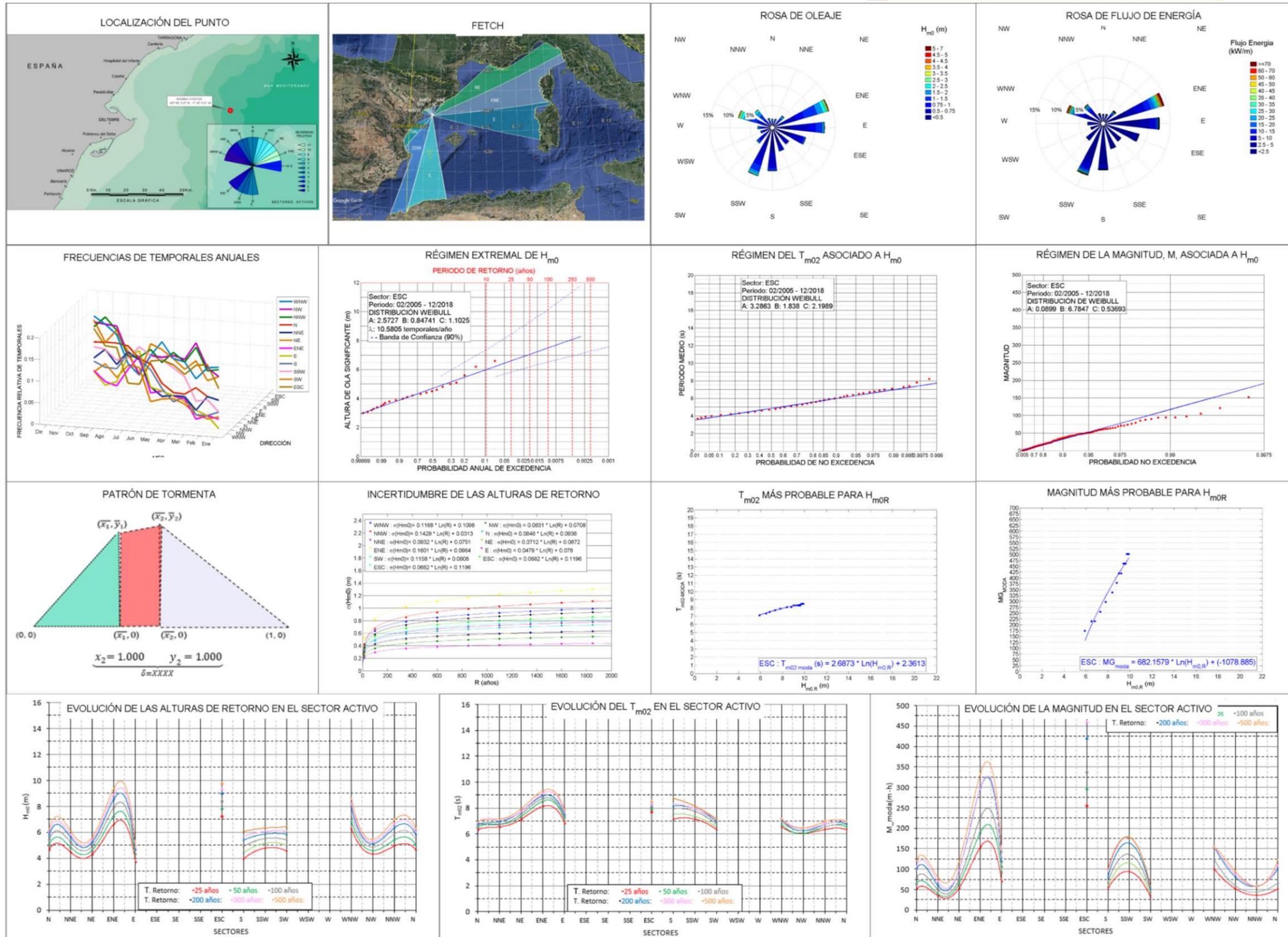
C PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE

R(años)	NNE	NE	ENE	E	ESE	WSW	W	ESC
5	6.1	7.7	6.3	5.8	5.3	4.8	5.0	7.6
10	6.1	8.3	6.9	6.1	5.6	4.8	5.3	7.9
15	6.4	8.6	7.5	6.4	5.9	5.1	5.3	7.9
25	6.4	8.9	7.8	6.4	6.2	5.1	5.3	8.2
50	6.7	9.5	8.4	6.7	6.5	5.1	5.6	8.5
100	6.7	9.8	8.7	7.0	6.8	5.4	5.6	8.8
150	7.0	10.1	9.0	7.3	6.8	5.4	5.6	9.1
200	7.0	10.4	9.0	7.3	7.1	5.4	5.6	9.1
250	7.0	10.4	9.0	7.6	7.1	5.4	5.9	9.1
300	7.0	10.7	9.3	7.6	7.1	5.4	5.9	9.1
400	7.3	10.7	9.3	7.6	7.1	5.4	5.9	9.4
500	7.3	11.0	9.3	7.6	7.4	5.7	5.9	9.4

D MAGNITUD MÁS PROBABLE

R(años)	NNE	NE	ENE	E	ESE	WSW	W	ESC
5	16	44	31	12	10	11	12	70
10	22	61	38	20	10	14	16	100
15	25	78	45	26	10	16	20	130
25	31	95	52	33	14	18	22	130
50	37	112	66	34	18	21	28	160
100	43	146	80	34	22	24	32	220
150	46	146	87	34	26	26	36	220
200	49	163	94	34	30	27	38	250
250	52	180	101	34	30	28	40	250
300	55	180	101	34	30	29	42	280
400	58	197	108	34	34	31	44	280
500	61	197	115	34	34	32	46	310

POSICIÓN 8. FACHADA MEDITERRÁNEA. FICHA 2.



POSICIÓN 9. FACHADA MEDITERRÁNEA. FICHA 1.

RÉGIMEN EXTREMAL de H_{m0} (WEIBULL)

SECTOR	H _{m0_u_tor} (m)	λ (temp/añ)	Weibull F(H _{m0})			σ _{Hm0}	
			A _{Hm0}	B _{Hm0}	C _{Hm0}	A _{σHm0}	B _{σHm0}
WNW	1.50	13.45	1.535	0.910	1.064	0.117	0.117
NW	1.50	9.92	1.560	0.715	1.264	0.063	0.063
NNW	1.50	7.05	1.565	0.632	0.979	0.143	0.143
N	0.90	12.79	0.954	0.791	1.138	0.085	0.085
NNE	1.10	10.29	1.154	0.672	1.074	0.093	0.093
NE	1.10	12.20	1.133	0.757	1.215	0.071	0.071
ENE	1.50	10.95	1.562	0.884	0.986	0.160	0.160
E	0.60	24.61	0.664	0.565	1.098	0.048	0.048
S	0.60	16.17	0.675	0.356	0.808	0.102	0.102
SSW	1.25	7.42	1.190	0.988	1.278	0.103	0.103
SW	1.00	8.82	1.048	0.707	1.050	0.116	0.116
ESC	2.50	10.58	2.573	0.847	1.102	0.093	0.109

PARÁMETROS ESPECTRO DIRECCIONAL

SECTOR	ESPECTRO JONSWAP				DISPERSION ANGULAR MGS			
	PARAMETRO APUNTAMIENTO (γ)				PARAMETRO DISPERSIÓN (S _{MAX})			
	MEDIA	MAX	MIN	DES	MEDIA	MAX	MIN	DES
WNW	6.21	8.84	4.52	0.75	5.28	13.64	0.38	2.29
NW	6.22	8.30	3.90	0.66	7.19	60.02	0.59	8.45
NNW	6.14	8.30	3.27	1.05	11.77	72.06	0.05	16.82
N	5.18	11.41	3.14	1.55	46.14	110.54	0.13	29.99
NNE	4.47	9.70	3.08	0.98	57.09	104.91	0.74	23.01
NE	4.42	8.47	3.14	0.87	56.76	99.28	0.95	22.65
ENE	4.79	7.02	3.39	0.87	30.21	87.96	4.36	22.55
E	6.19	11.76	3.34	1.40	39.26	107.21	0.65	28.24
S	6.87	11.41	3.41	1.58	31.93	107.85	1.84	23.66
SSW	5.45	7.82	2.91	0.84	21.13	97.68	5.3	16.12
SW	5.81	11.41	3.1	1.41	27.16	89.52	0.07	19.97
ESC	5.67	8.84	3.08	1.10	16.47	82.47	0.38	19.16

RÉGIMEN CONCOMITANTE T_{m02}

SECTOR	Weibull F(T _{m02})		
	A _{Tm02}	B _{Tm02}	C _{Tm02}
WNW	3.286	1.555	2.327
NW	3.386	1.379	2.661
NNW	3.486	1.400	2.316
N	2.487	2.187	3.012
NNE	3.286	1.620	2.444
NE	3.286	1.982	2.486
ENE	3.680	2.081	2.143
E	2.387	1.773	1.993
S	2.487	1.479	1.517
SSW	3.486	1.677	2.043
SW	2.687	1.761	2.251
ESC	3.286	1.838	2.199

PARÁMETRO DEPENDENCIA H_{m0}-T_{m02}

SECTOR	F(H _{m0})	F(T _{m02})	Dep
WNW	A _{Hm0} B _{Hm0} C _{Hm0} (Tabla 1)	A _{Tm02} B _{Tm02} C _{Tm02} (Tabla 2)	4.88
NW			3.58
NNW			3.33
N			3.32
NNE			2.88
NE			2.02
ENE			1.80
E			2.07
S			2.26
SSW			2.41
SW			3.15
ESC			2.15

PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE (para H_{m0_R})

SECTOR	a _{Tm02}	b _{Tm02}
WNW	2.870	2.020
NW	3.000	2.040
NNW	3.570	1.720
N	3.420	1.930
NNE	3.650	1.930
NE	3.320	2.670
ENE	2.500	3.010
E	2.740	3.110
S	2.840	3.200
SSW	2.030	3.300
SW	2.730	2.390
ESC	2.450	2.760

PATRÓN DE TORMENTA

SECTOR	PATRON TORMENTA				δ
	X1	Y1	X2	Y2	
WNW	0.39987	0.97033	0.63657	0.96994	1.1998
NW	0.41185	0.98038	0.64845	0.95663	1.1984
NNW	0.46930	0.98626	0.70751	0.96387	1.2093
N	0.47088	0.97392	0.74154	0.96633	1.2335
NNE	0.46974	0.99385	0.69841	0.96232	1.2044
NE	0.44732	0.98590	0.72641	0.95600	1.2445
ENE	0.35496	0.95446	0.57249	0.96606	1.1696
E	0.40002	0.96904	0.62830	0.97431	1.1934
S	0.41936	0.97912	0.64142	0.98034	1.1973
SSW	0.41400	0.96211	0.64175	0.96932	1.1854
SW	0.47824	0.97124	0.69368	0.97726	1.1836
ESC	0.37319	0.95655	0.59604	0.97095	1.1787

RÉGIMEN CONCOMITANTE M

SECTOR	Weibull F(Mg)		
	A _{Mg}	B _{Mg}	C _{Mg}
WNW	0.090	6.099	0.619
NW	0.090	5.111	0.716
NNW	0.090	3.657	0.695
N	0.089	2.720	0.551
NNE	0.090	2.445	0.596
NE	0.090	3.687	0.617
ENE	0.090	9.838	0.602
E	0.089	4.422	0.632
S	0.090	2.374	0.577
SSW	0.086	7.467	0.64
SW	0.090	3.195	0.702
ESC	0.090	6.785	0.537

PARÁMETRO DEPENDENCIA H_{m0}-M

SECTOR	F(H _{m0})	F(Mg)	Dep
WNW	A _{Hm0} B _{Hm0} C _{Hm0} (Tabla 1)	A _{Mg} B _{Mg} C _{Mg} (Tabla 2)	3.21
NW			2.39
NNW			2.60
N			1.72
NNE			1.60
NE			1.94
ENE			3.71
E			1.97
S			2.46
SSW			3.18
SW			2.10
ESC			4.55

MAGNITUD MÁS PROBABLE (para H_{m0_R})

SECTOR	a _{Mg}	b _{Mg}
WNW	-248.73	191.16
NW	-201.12	174.49
NNW	-71.66	68.27
N	-240.27	194.57
NNE	-148.47	123.05
NE	-216.99	188.69
ENE	-669.11	445.59
E	-182.31	199.56
S	-94.34	106.88
SSW	-351.1	288.47
SW	-77.03	73.00
ESC	-1078.89	682.16

A FRECUENCIA MENSUAL DE TEMPORALES

MES	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	S	SSW	SW	ESC
JAN	0.15	0.14	0.10	0.13	0.13	0.16	0.11	0.06	0.07	0.13	0.14	0.15
FEB	0.13	0.14	0.19	0.14	0.14	0.12	0.11	0.06	0.10	0.15	0.14	0.14
MAR	0.15	0.13	0.18	0.13	0.14	0.11	0.13	0.10	0.09	0.14	0.16	0.12
ABR	0.08	0.07	0.08	0.06	0.05	0.06	0.09	0.10	0.11	0.11	0.10	0.09
MAY	0.08	0.07	0.03	0.05	0.04	0.03	0.04	0.09	0.10	0.06	0.08	0.05
JUN	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.01	0.07	0.07	0.03	0.05	0.02
JUL	0.03	0.03	0.01	0.05	0.04	0.04	0.03	0.10	0.06	0.01	0.01	0.02
AGO	0.01	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.11	0.09	0.02	0.00	0.02
SEP	0.05	0.03	0.02	0.05	0.03	0.05	0.08	0.09	0.10	0.05	0.04	0.04
OCT	0.05	0.07	0.05	0.10	0.11	0.11	0.11	0.12	0.09	0.07	0.08	0.08
NOV	0.13	0.11	0.15	0.11	0.13	0.14	0.14	0.16	0.10	0.14	0.10	0.14
DIC	0.10	0.15	0.14	0.10	0.11	0.10	0.10	0.04	0.03	0.10	0.09	0.12

B ALTURA DE RETORNO

R(años)	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	S	SSW	SW	ESC
5	5.1	3.7	3.9	3.7	3.6	3.6	5.2	3.0	2.9	3.9	3.6	5.9
10	5.6	4.0	4.3	4.1	4.0	3.9	5.8	3.3	3.3	4.3	4.0	6.5
15	5.9	4.1	4.6	4.4	4.2	4.1	6.2	3.5	3.6	4.5	4.3	6.8
25	6.3	4.3	5.0	4.6	4.5	4.3	6.6	3.7	4.0	4.8	4.6	7.3
50	6.8	4.6	5.4	5.0	4.9	4.6	7.3	4.0	4.4	5.2	5.0	7.9
100	7.4	4.9	5.9	5.4	5.2	4.9	7.9	4.3	4.9	5.5	5.4	8.4
150	7.7	5.0	6.2	5.6	5.5	5.1	8.3	4.5	5.2	5.7	5.7	8.8
200	7.9	5.1	6.4	5.8	5.6	5.2	8.6	4.6	5.4	5.9	5.9	9.0
250	8.1	5.2	6.5	5.9	5.7	5.3	8.8	4.7	5.6	6.0	6.0	9.2
300	8.2	5.3	6.6	6.0	5.8	5.4	8.9	4.8	5.7	6.1	6.1	9.4
400	8.4	5.4	6.8	6.2	6.0	5.5	9.2	4.9	5.9	6.2	6.3	9.6
500	8.6	5.5	7.0	6.3	6.1	5.6	9.4	5.0	6.1	6.3	6.4	9.8

C PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE

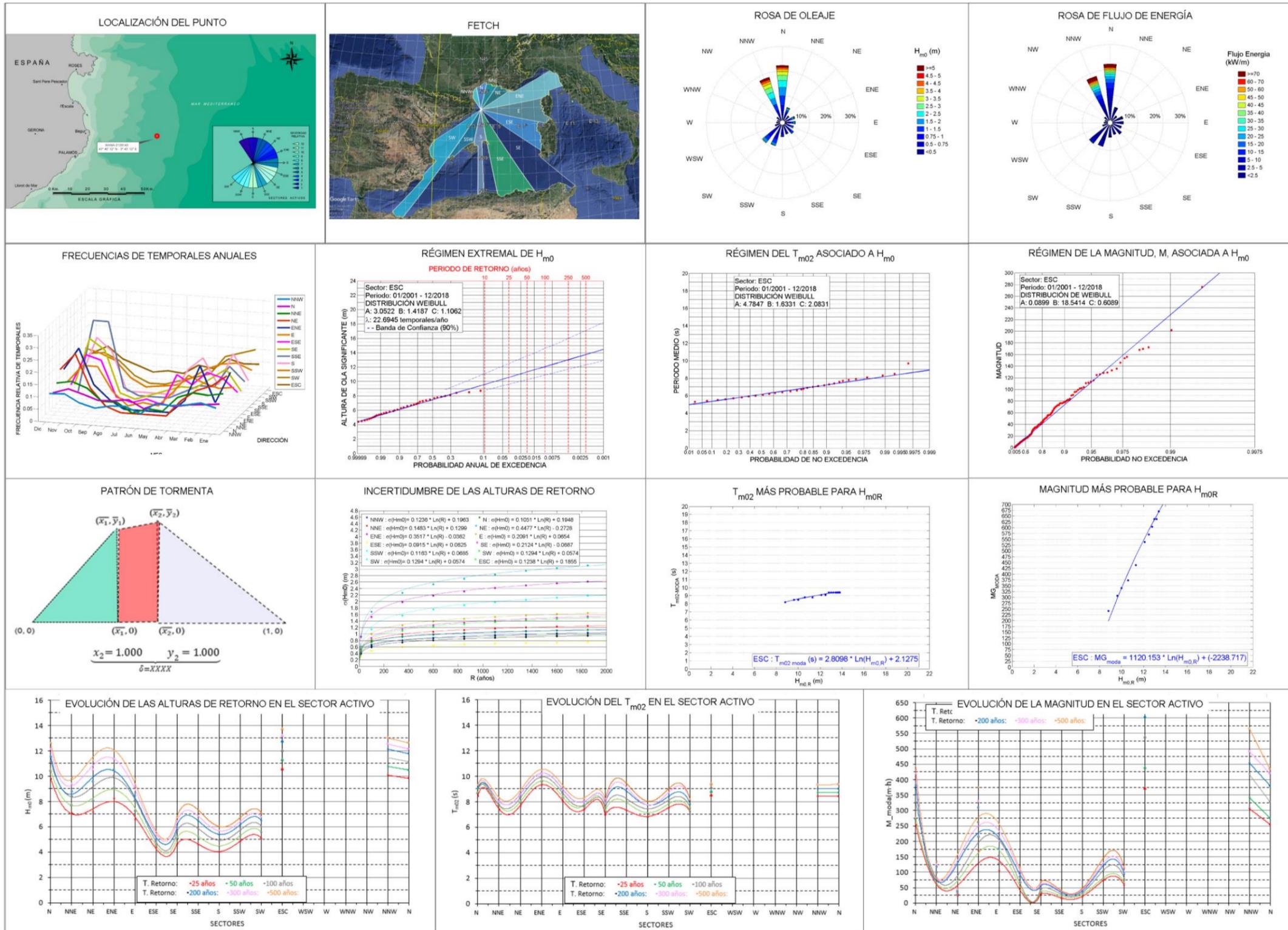
R(años)	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	S	SSW	SW	ESC
5	6.1	5.6	5.9	5.9	6.1	6.7	7.5	6.2	6.3	6.5	5.7	7.1
10	6.3	5.8	6.1	6.1	6.3	6.9	7.7	6.4	6.7	6.9	6.1	7.3
15	6.5	5.8	6.1	6.3	6.3	7.1	7.9	6.6	6.9	6.9	6.1	7.5
25	6.5	6.0	6.3	6.3	6.5	7.1	8.1	6.8	7.1	7.1	6.3	7.7
50	6.7	6.0	6.5	6.5	6.7	7.3	8.5	7.0	7.5	7.3	6.5	7.9
100	6.9	6.2	6.5	6.7	6.7	7.5	8.7	7.2	7.9	7.7	6.7	8.1
150	6.9	6.2	6.7	6.7	6.9	7.7	8.9	7.4	8.1	7.7	6.9	8.1
200	7.1	6.2	6.7	6.7	6.9	7.7	8.9	7.4	8.1	7.9	6.9	8.3
250	7.1	6.4	6.7	6.9	6.9	7.7	8.9	7.6	8.3	7.9	6.9	8.3
300	7.1	6.4	6.7	6.9	7.1	7.7	9.1	7.6	8.3	7.9	7.1	8.3
400	7.1	6.4	6.9	6.9	7.1	7.9	9.1	7.6	8.5	8.1	7.1	8.3
500	7.1	6.4	6.9	6.9	7.1	7.9	9.3	7.8	8.7	8.1	7.1	8.5

D MAGNITUD MÁS PROBABLE

R(años)	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	S	SSW	SW	ESC
5	58	31	20	24	15	32	82	46	28	52	18	174
10	76	38	28	38	20	43	118	58	34	66	24	

Puertos del Estado

WANA 2128143 (longitud: 3.67E, latitud: 41.92N)
AGUAS PROFUNDAS. CONDICIONES EXTREMAS
PARTE B. CRITERIOS ROM - DISEÑO DE OBRAS



POSICIÓN 10. FACHADA MEDITERRÁNEA. FICHA 1.

RÉGIMEN EXTREMAL de H_{m0} (WEIBULL)

SECTOR	H _{m0_u_tor} (m)	λ (temp/añ)	Weibull F(H _{m0})			σ _{Hm0}	
			A _{Hm0}	B _{Hm0}	C _{Hm0}	A _{σHm0}	B _{σHm0}
NNW	2.50	21.90	2.538	1.580	1.179	0.196	0.124
N	2.25	24.50	2.219	1.679	1.230	0.195	0.105
NNE	1.25	12.90	1.280	1.110	1.059	0.130	0.148
NE	2.13	3.17	2.188	0.929	0.876	-0.273	0.448
ENE	2.00	3.96	1.997	1.518	1.075	-0.036	0.352
E	1.00	8.07	1.080	1.000	0.979	0.065	0.209
ESE	1.50	3.96	1.359	1.212	1.687	0.063	0.092
SE	1.50	3.39	1.576	0.659	0.965	-0.069	0.212
SSE	1.50	2.45	1.588	0.592	0.863	-0.256	0.322
S	1.50	2.74	1.585	0.502	0.908	-0.127	0.215
SSW	1.25	8.72	1.284	0.727	1.055	0.069	0.116
SW	1.50	7.71	1.579	0.679	1.006	0.057	0.129
ESC	3.00	22.70	3.052	1.419	1.106	0.186	0.124

PARÁMETROS ESPECTRO DIRECCIONAL

SECTOR	ESPECTRO JONSWAP				DISPERSION ANGULAR MGS			
	PARAMETRO APUNTAMIENTO (γ)				PARAMETRO DISPERSIÓN (S _{MAX})			
	MEDIA	MAX	MIN	DES	MEDIA	MAX	MIN	DES
NNW	4.92	6.19	3.65	0.512	5.59	13.98	0.68	2.03
N	5.01	6.58	3.57	0.526	6.13	22.18	0.76	2.38
NNE	5.67	10.21	3.68	1.069	14.67	67.42	0.09	11.03
NE	4.38	7.82	3.57	0.710	24.90	62.99	0.34	11.99
ENE	4.32	6.19	3.34	0.530	21.99	47.22	4.07	10.28
E	5.10	7.97	3.62	0.730	30.33	74.24	5.24	15.52
ESE	4.94	6.79	3.54	0.705	23.84	59.27	3.59	14.41
SE	5.15	7.02	3.60	0.753	23.64	62.20	4.01	16.87
SSE	5.32	6.79	4.11	0.783	20.66	54.99	4.38	14.83
S	5.68	7.67	4.44	0.838	16.3	45.64	2.16	12.69
SSW	5.93	8.3	3.93	0.946	14.9	62.76	2.28	11.18
SW	5.71	7.53	3.36	0.809	13.42	101.69	3.1	13.01
ESC	4.67	6.19	3.34	0.469	6.28	32.85	0.68	4.22

RÉGIMEN CONCOMITANTE T_{m02}

SECTOR	Weibull F(T _{m02})		
	A _{Tm02}	B _{Tm02}	C _{Tm02}
NNW	4.685	1.355	1.769
N	4.385	1.574	1.939
NNE	2.778	2.361	2.553
NE	3.937	2.058	2.259
ENE	4.376	2.348	2.078
E	2.533	3.100	2.737
ESE	3.049	2.822	3.282
SE	3.841	1.608	1.995
SSE	4.185	0.977	1.143
S	3.686	1.393	1.669
SSW	3.486	1.404	1.543
SW	3.786	1.207	1.601
ESC	4.785	1.633	2.083

PARÁMETRO DEPENDENCIA H_{m0}-T_{m02}

SECTOR	F(H _{m0})	F(T _{m02})	Dep
NNW			5.31
N			6.42
NNE			3.47
NE			2.75
ENE	A _{Hm0}	A _{Tm02}	2.74
E	B _{Hm0}	B _{Tm02}	2.41
ESE	C _{Hm0}	C _{Tm02}	1.76
SE	(Tabla 1)	(Tabla 2)	2.05
SSE			2.07
S			1.73
SSW			2.42
SW			2.22
ESC			2.99

PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE (para H_{m0_R})

SECTOR	a _{Tm02}	b _{Tm02}
NNW	0.520	3.460
N	0.570	3.470
NNE	2.280	2.620
NE	3.170	2.350
ENE	2.390	3.270
E	3.480	2.500
ESE	2.230	3.540
SE	2.970	2.690
SSE	1.110	4.120
S	2.400	3.150
SSW	1.050	4.130
SW	1.840	3.220
ESC	2.130	2.810

PATRÓN DE TORMENTA

SECTOR	PATRON TORMENTA				δ
	X1	Y1	X2	Y2	
NNW	0.41765	0.95478	0.69999	0.96181	1.2284
N	0.37505	0.96842	0.62357	0.95934	1.2034
NNE	0.41739	0.9828	0.63981	0.96499	1.191
NE	0.46724	0.97828	0.69766	0.98824	1.209
ENE	0.36181	0.95807	0.58862	0.98009	1.1894
E	0.37548	0.95679	0.64318	0.97473	1.2241
ESE	0.41935	0.97622	0.67553	0.97622	1.2263
SE	0.48621	0.98392	0.68898	0.97178	1.1772
SSE	0.50607	0.97765	0.72442	0.98404	1.1943
S	0.43267	0.98311	0.66732	0.98315	1.2138
SSW	0.44311	0.96406	0.67762	0.95748	1.1865
SW	0.42241	0.98088	0.66026	0.96759	1.2065
ESC	0.33116	0.96237	0.56939	0.96771	1.1952

RÉGIMEN CONCOMITANTE M

SECTOR	Weibull F(Mg)		
	A _{Mg}	B _{Mg}	C _{Mg}
NNW	0.082	16.180	0.628
N	0.090	17.538	0.680
NNE	0.090	5.541	0.666
NE	0.190	4.459	0.826
ENE	0.090	15.590	0.626
E	0.090	9.297	0.663
ESE	0.090	8.107	0.742
SE	0.090	3.562	0.659
SSE	0.090	2.530	0.684
S	0.086	2.994	0.696
SSW	0.090	5.138	0.631
SW	0.090	4.738	0.660
ESC	0.090	18.541	0.609

PARÁMETRO DEPENDENCIA H_{m0}-M

SECTOR	F(H _{m0})	F(Mg)	Dep
NNW			3.028
N			2.619
NNE			2.311
NE			2.788
ENE	A _{Hm0}	A _{Mg}	2.763
E	B _{Hm0}	B _{Mg}	2.457
ESE	C _{Hm0}	C _{Mg}	2.010
SE	(Tabla 1)	(Tabla 2)	2.320
SSE			2.071
S			2.361
SSW			2.835
SW			3.296
ESC			4.178

MAGNITUD MÁS PROBABLE (para H_{m0_R})

SECTOR	a _{Mg}	b _{Mg}
NNW	-1660.09	856.39
N	-1320.63	696.68
NNE	-249.96	166.91
NE	-65.55	46.79
ENE	-847.84	487.91
E	-331.92	237.63
ESE	-293.51	240.92
SE	-103.55	89.28
SSE	-48.63	44.19
S	-59.35	59.36
SSW	-233.39	195.53
SW	-184.85	150.01
ESC	-2238.72	1120.15

A FRECUENCIA MENSUAL DE TEMPORALES

MES	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	ESC
ENE	0.09	0.09	0.12	0.18	0.18	0.11	0.07	0.06	0.09	0.08	0.11	0.18	0.10
FEB	0.11	0.09	0.11	0.14	0.05	0.10	0.13	0.15	0.15	0.18	0.13	0.16	0.10
MAR	0.10	0.08	0.12	0.11	0.20	0.12	0.15	0.11	0.06	0.05	0.12	0.14	0.12
ABR	0.09	0.07	0.09	0.07	0.05	0.14	0.09	0.06	0.06	0.16	0.10	0.07	0.07
MAY	0.09	0.08	0.03	0.00	0.00	0.07	0.13	0.06	0.03	0.11	0.06	0.05	0.08
JUN	0.05	0.05	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.03	0.04
JUL	0.07	0.09	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.05
AGO	0.07	0.08	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04
SEP	0.06	0.07	0.06	0.02	0.04	0.05	0.02	0.02	0.03	0.00	0.04	0.04	0.06
OCT	0.07	0.09	0.11	0.09	0.09	0.15	0.16	0.19	0.29	0.16	0.11	0.09	0.09
NOV	0.11	0.11	0.13	0.23	0.24	0.15	0.18	0.23	0.29	0.21	0.13	0.12	0.13
DIC	0.10	0.09	0.12	0.16	0.15	0.08	0.05	0.04	0.00	0.05	0.15	0.11	0.10

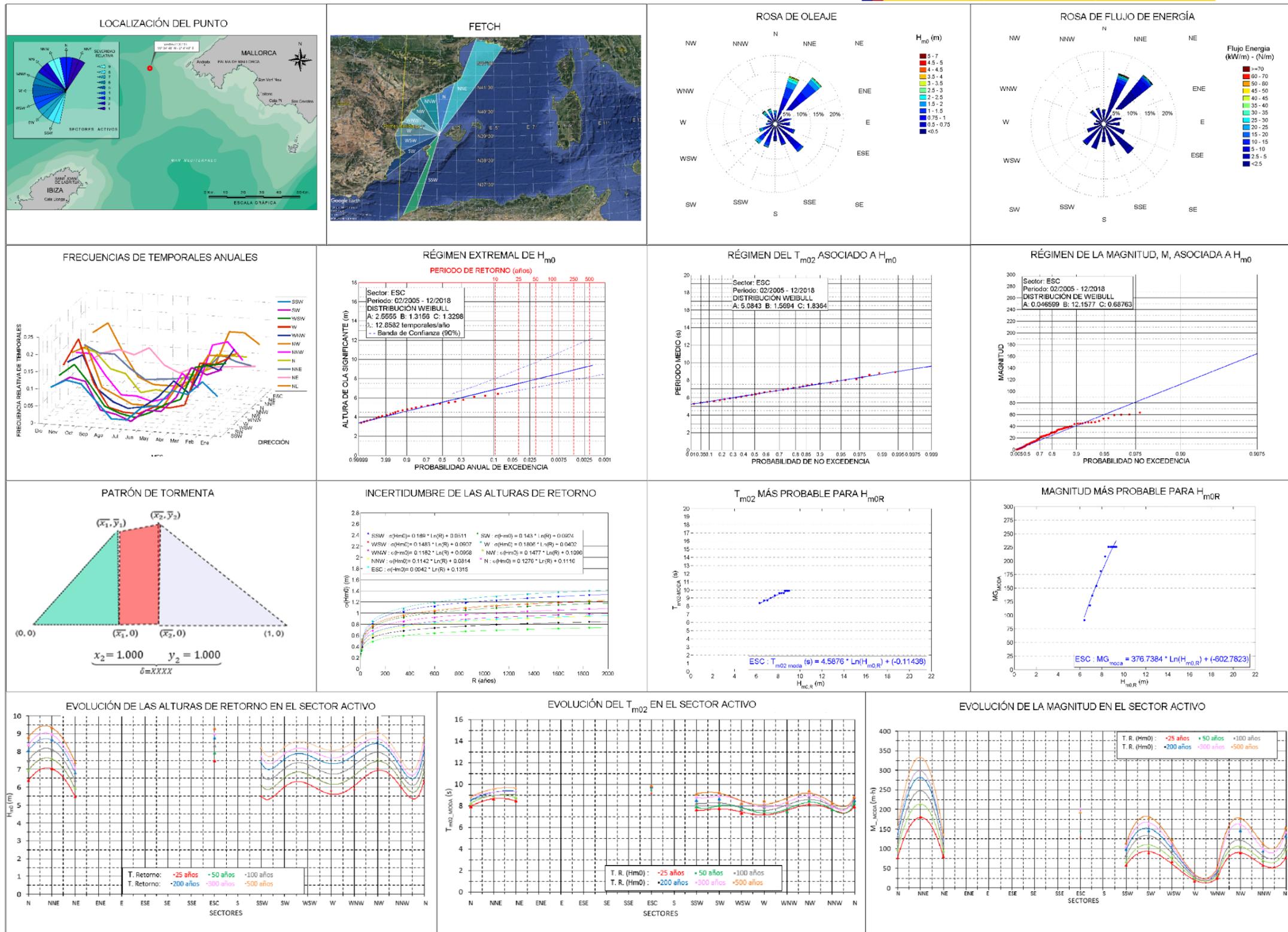
B ALTURA DE RETORNO

R(años)	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	ESC
5	8.4	8.2	5.6	5.2	6.2	4.9	3.7	3.5	3.3	3.0	3.9	4.0	8.8
10	9.1	8.9	6.2	6.0	7.1	5.6	4.0	4.0	3.86	3.5	4.3	4.5	9.6
15	9.6	9.3	6.6	6.5	7.6	6.0	4.2	4.3	4.2	3.7	4.6	4.8	10.0
25	10.1	9.8	7.1	7.2	8.3	6.6	4.4	4.7	4.64	4.0	4.9	5.1	10.6
50	10.8	10.5	7.8	8.1	9.1	7.3	4.6	5.2	5.24	4.5	5.3	5.6	11.3
100	11.5	11.1	8.4	9.1	10.0	8.1	4.9	5.7	5.86	4.9	5.7	6.1	12.1
150	11.9	11.5	8.8	9.6	10.5	8.5	5.0	6.0	6.22	5.2	6.0	6.3	12.5
200	12.1	11.8	9.1	10.0	10.9	8.8	5.1	6.2	6.48	5.4	6.2	6.5	12.8
250	12.3	12.0	9.3	10.3	11.2	9.0	5.2	6.3	6.69	5.6	6.3	6.7	13.0
300	12.5	12.2	9.4	10.6	11.4	9.2	5.2	6.5	6.86	5.7	6.4	6.8	13.2
400	12.8	12.4	9.7	11.0	11.7	9.5	5.3	6.7	7.12	5.9	6.6	7.0	13.5
500	13.0	12.6	9.9	11.3	12.0	9.8	5.4	6.8	7.33	6.0	6.7	7.1	13.7

C PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE

R(años)	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ESC
5	6.7	7.1	6.7	6.7	6.5	7.6	7.0	7.6	8.3	7.5	8.2
10	7.0	7.4	7.0	7.0	6.8	7.9	7.3	7.6	8.6	8.1	8.5
15	7.3	7.4	7.0	7.0	7.1	7.9	7.3	7.9	8.6	8.1	8.8
25	7.6	7.7	7.3	7.3	7.4	8.2	7.6	7.9	8.9	8.4	9.1
50	7.9	8.0	7.6	7.6	7.4	8.5	7.6	8.2	8.9	8.7	9.4
100	8.2	8.3	7.6	7.9	7.7	8.8	7.9	8.5	9.2	9.0	9.6
150	8.5	8.6	7.9	7.9	8.0	8.8	7.9	8.5	9.2	9.0	9.7
200	8.5	8.6	7.9	8.2	8.0	9.1	7.9	8.5	9.5	9.3	9.7
250	8.8	8.9	7.9	8.2	8.0	9.1	7.9	8.8	9.5	9.3	9.8

C.ISLAS BALEARES



POSICIÓN 11. FACHADA ISLAS BALEARES. FICHA 1.



Puertos del Estado

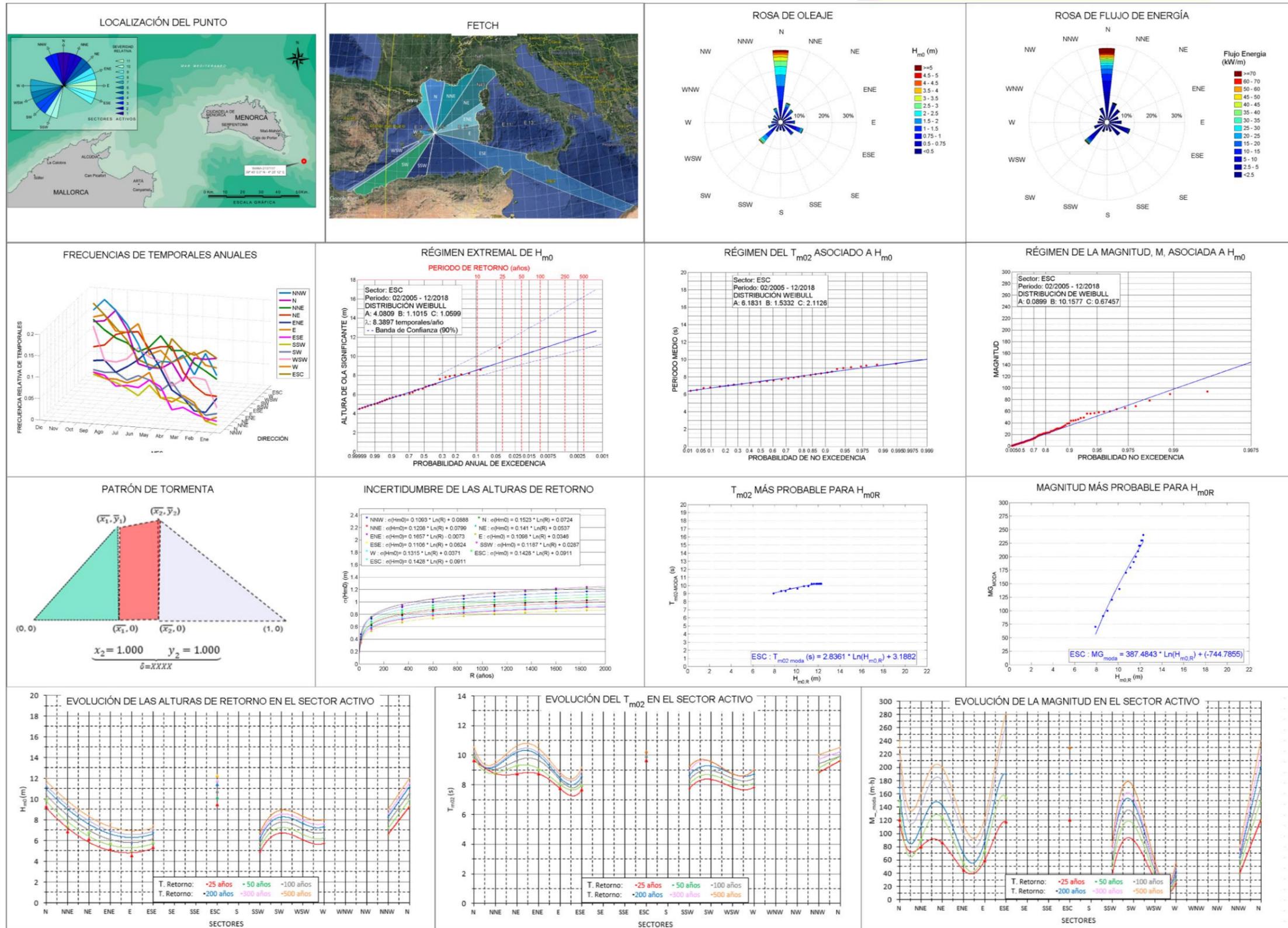
WANA 2109115 (longitud: 2.10W, latitud: 39.55N)
AGUAS PROFUNDAS. CONDICIONES EXTREMAS
PARTE B. CRITERIOS ROM - DISEÑO DE OBRAS



CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

RÉGIMEN EXTREMAL de H _{m0} (WEIBULL)										PARÁMETROS ESPECTRO DIRECCIONAL																																					
1	SECTOR	H _{m0_u_tor} (m)	λ (temp/añ)	Weibull F(H _{m0})			σ H _{m0}		PARÁMETROS ESPECTRO DIRECCIONAL																																						
				A_H _{m0}	B_H _{m0}	C_H _{m0}	A_σH _{m0}	B_σH _{m0}	ESPECTRO JONSWAP				DISPERSION ANGULAR MGS																																		
									PARAMETRO APUNTAMIENTO (γ)				PARAMETRO DISPERSIÓN (S _{MAX})																																		
									MEDIA	MAX	MIN	DES	MEDIA	MAX	MIN	DES																															
	SSW	1.00	9.26	0.727	0.727	0.933	0.050	0.169	NNW	4.47	6.90	3.27	0.594	29.76	66.51	3.02	14.03																														
	SW	1.50	8.23	1.023	1.023	1.120	0.092	0.143	N	3.70	4.57	3.04	0.292	16.83	34.76	5.87	5.15																														
	WSW	1.50	8.30	0.970	0.970	1.092	0.091	0.148	NNE	4.52	6.19	3.29	0.635	21.84	61.38	3.42	13.78																														
	W	1.50	6.47	0.846	0.846	1.003	0.040	0.181	NE	5.19	9.47	3.04	1.144	28.45	80.28	0.71	19.32																														
	WNW	1.25	14.33	0.737	0.737	0.969	0.096	0.118	ENE	5.32	7.53	3.29	0.980	27.11	78.73	2.61	19.40																														
	NW	2.20	6.91	1.298	1.298	1.242	0.110	0.148	E	5.49	9.95	3.87	1.058	23.41	81.90	0.22	16.63																														
	NNW	2.40	5.81	1.043	1.043	1.309	0.081	0.114	ESE	5.34	7.67	3.65	0.810	22.56	57.82	3.65	12.09																														
	N	1.40	12.79	0.925	0.925	1.048	0.112	0.128	SSW	5.47	7.97	3.41	0.973	17.17	64.15	1.22	12.94																														
	NNE	1.50	18.08	1.116	1.116	1.120	0.144	0.109	SW	4.62	5.85	3.16	0.645	18.36	53.41	4.85	11.03																														
NE	1.10	18.59	0.814	0.814	1.087	0.110	0.083	WSW	4.6	7.67	3.29	0.759	23.18	61.38	0.75	14.32																															
ESC	2.60	12.86	2.560	1.316	1.330	0.132	0.008	W	4.95	8.3	3.29	1.002	24.28	67.38	0.25	16.95																															
								ESC	4.41	5.78	3.23	0.547	15.94	60.59	3.23	11.93																															
RÉGIMEN CONCOMITANTE T _{m02}										PARÁMETRO DEPENDENCIA H _{m0} -T _{m02}				PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE (para H _{m0_R})				PATRÓN DE TORMENTA																													
2	SECTOR	Weibull F(T _{m02})			SECTOR	F(H _{m0})	F(T _{m02})	Dep	SECTOR	a_T _{m02}	b_T _{m02}	PATRON TORMENTA				δ																															
		A_T _{m02}	B_T _{m02}	C_T _{m02}							X1	Y1	X2	Y2																																	
	SSW	3.258	1.482	1.567		SSW				3.06	SSW	1.730	3.440	0.52048	0.97633		0.72091	0.98804	1.1776																												
	SW	3.986	1.306	1.537		SW				4.10	SW	0.640	4.000	0.41155	0.96882		0.67304	0.97092	1.2234																												
	WSW	3.886	1.437	1.901		WSW				3.73	WSW	2.230	2.840	0.46088	0.98416		0.67966	0.96771	1.1906																												
	W	3.829	1.344	1.681		W	A_H _{m0}	A_T _{m02}		3.33	W	2.080	2.980	0.49656	0.98149		0.71264	0.98496	1.1953																												
	WNW	3.386	1.538	1.863		WNW	B_H _{m0}	B_T _{m02}		2.43	WNW	2.110	2.920	0.49972	0.97101		0.74799	0.97388	1.2135																												
	NW	4.731	1.368	1.735		NW	C_H _{m0}	C_T _{m02}		4.75	NW	0.630	3.890	0.45175	0.98662		0.68107	0.95677	1.1965																												
	NNW	4.466	1.776	2.853		NNW	(Tabla 1)	(Tabla 2)		2.81	NNW	2.580	2.760	0.44238	0.98717		0.67388	0.97032	1.2063																												
	N	3.582	2.304	2.577		N				2.08	N	3.450	2.490	0.43792	0.9764		0.66243	0.9769	1.1959																												
	NNE	2.737	3.791	3.651		NNE				1.55	NNE	3.890	2.500	0.31033	0.97981		0.5073	0.9676	1.1644																												
NE	3.186	2.291	2.099	NE			1.62	NE	1.810	3.890	0.40919	0.97754	0.63992	0.97699	1.2028																																
ESC	5.084	1.569	1.836	ESC			1.98	ESC	-0.110	4.590	0.35472	0.96856	0.57162	0.96456	1.1761																																
RÉGIMEN CONCOMITANTE M										PARÁMETRO DEPENDENCIA H _{m0} -M				MAGNITUD MÁS PROBABLE (para H _{m0_R})																																	
3	SECTOR	Weibull F(Mg)			SECTOR	F(H _{m0})	F(Mg)	Dep	SECTOR	a_Mg	b_Mg																																				
		A_Mg	B_Mg	C_Mg																																											
	SSW	0.066	3.782	0.614		SSW				2.70	SSW	-155.80	127.41																																		
	SW	0.090	7.150	0.655		SW				3.43	SW	-350.10	247.15																																		
	WSW	0.090	6.394	0.705		WSW				2.48	WSW	-236.12	169.00																																		
	W	0.090	2.755	0.826		W	A_H _{m0}	A_Mg		1.76	W	-47.11	37.04																																		
	WNW	0.080	1.961	0.653		WNW	B_H _{m0}	B_Mg		1.76	WNW	-88.08	64.90																																		
	NW	0.018	8.327	0.686		NW	C_H _{m0}	C_Mg		3.55	NW	-460.83	283.80																																		
	NNW	0.085	7.197	0.748		NNW	(Tabla 1)	(Tabla 2)		2.53	NNW	-298.17	201.81																																		
	N	0.090	5.758	0.651		N				2.28	N	-304.61	208.39																																		
	NNE	0.090	12.832	0.674		NNE				3.29	NNE	-702.07	454.44																																		
NE	0.090	6.590	0.724	NE			2.34	NE	-204.74	168.81																																					
ESC	0.047	12.158	0.688	ESC			3.76	ESC	-602.78	376.74																																					
A FRECUENCIA MENSUAL DE TEMPORALES												B ALTURA DE RETORNO												C PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE												D MAGNITUD MÁS PROBABLE											
MES	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ESC	R(años)	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ESC	R(años)	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ESC												
ENE	0.10	0.17	0.18	0.18	0.20	0.17	0.14	0.14	0.10	0.09	0.14	5	4.1	4.8	4.8	4.5	4.6	5.8	5.1	5.1	5.8	4.4	6.4	5	34	50	38	10	13	50	34	43	112	52	91												
FEB	0.14	0.15	0.17	0.16	0.13	0.16	0.19	0.14	0.11	0.08	0.17	10	4.7	5.4	5.4	5.1	5.1	6.4	5.5	5.6	6.4	4.9	6.9	10	42	66	45	13	19	66	46	54	146	66	118												
MAR	0.10	0.17	0.16	0.16	0.15	0.16	0.18	0.14	0.13	0.08	0.15	15	5.1	5.7	5.7	5.4	5.5	6.7	5.7	6.0	6.7	5.2	7.1	15	50	74	52	15	22	74	52	65	163	66	136												
ABR	0.11	0.08	0.06	0.03	0.06	0.09	0.05	0.07	0.08	0.07	0.07	25	5.5	6.1	6.1	5.8	5.9	7.1	6.0	6.4	7.2	5.5	7.5	25	58	90	66	17	25	90	58	76	180	80	154												
MAY	0.06	0.04	0.04	0.02	0.09	0.06	0.09	0.07	0.05	0.07	0.04	50	6.1	6.6	6.6	6.4	6.4	7.6	6.3	6.9	7.7	5.9	7.9	50	66	106	80	21	31	106	70	98	214	94	181												
JUN	0.06	0.04	0.02	0.02	0.04	0.00	0.01	0.02	0.05	0.05	0.00	100	6.8	7.1	7.1	7.0	7.0	8.1	6.7	7.5	8.3	6.4	8.3	100	82	130	94	24	37	122	82	109	248	108	208												
JUL	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.04	0.07	0.00	150	7.1	7.4	7.4	7.3	7.3	8.4	6.9	7.8	8.6	6.6	8.6	150	85	138	101	26	40	138	88	120	265	108	226												
AGO	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.12	0.00	200	7.4	7.6	7.6	7.6	7.6	8.6	7.1	8.1	8.8	6.8	8.8	200	98	146	108	27	43	146	94	131	282	122	226												
SEP	0.06	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.06	0.07	0.09	0.02	250	7.6	7.8	7.8	7.8	7.7	8.8	7.2	8.2	9.0	7.0	8.9	250	98	154	108	29	43	154	100	131	299	122	226												
OCT	0.11	0.11	0.09	0.08	0.05	0.04	0.06	0.07	0.11	0.11	0.09	300	7.7	7.9	8.0	7.9	7.9	8.9	7.3	8.4	9.2	7.1	9.0	300	88	146	108	27	43	146	94	131	282	122	226												
NOV	0.12	0.12	0.14	0.20	0.15	0.16	0.13	0.12	0.11	0.09	0.18	400	8.0	8.1	8.2	8.2	8.1	9.1	7.4	8.6	9.4	7.3	9.2	400	106	162	115	29	46	162	100	142	299	122	227												
DIC	0.10	0.09	0.11	0.13	0.12	0.14	0.13	0.13	0.13	0.07	0.14	500	8.2	8.3	8.3	8.3	8.3	9.2	7.5	8.8	9.6	7.4	9.3	500	114	170	122	31	49	170	106	142	316	136	228												

POSICIÓN 11. ISLAS BALEARES. FICHA 2.



POSICIÓN 12. ISLAS BALEARES. FICHA 1.



Puertos del Estado

WANA 2137117 (longitud: 4.42E, latitud: 39.75N)
AGUAS PROFUNDAS. CONDICIONES EXTREMAS
PARTE B. CRITERIOS ROM - DISEÑO DE OBRAS



RÉGIMEN EXTREMAL de H _{m0} (WEIBULL)													PARÁMETROS ESPECTRO DIRECCIONAL																																			
1	SECTOR	H _{m0_u_tor} (m)	λ (temp/añ)	Weibull F(H _{m0})			σ H _{m0}		PARÁMETROS ESPECTRO DIRECCIONAL																																							
				A_H _{m0}	B_H _{m0}	C_H _{m0}	A_σH _{m0}	B_σH _{m0}	ESPECTRO JONSWAP				DISPERSION ANGULAR MGS																																			
									PARAMETRO APUNTAMIENTO (γ)				PARAMETRO DISPERSIÓN (S _{MAX})																																			
									MEDIA	MAX	MIN	DES	MEDIA	MAX	MIN	DES																																
	NNW	1.75	10.10	1.766	0.995	1.079	0.089	0.109	4.47	6.90	3.27	0.59	29.76	66.51	3.02	14.03																																
	N	4.00	6.54	4.031	1.216	1.113	0.072	0.152	3.70	4.57	3.04	0.29	16.83	34.76	5.87	5.15																																
	NNE	2.00	6.90	1.990	1.241	1.202	0.080	0.121	4.52	6.19	3.29	0.64	21.84	61.38	3.42	13.78																																
	NE	1.25	8.12	1.253	0.930	1.007	0.054	0.141	5.19	9.47	3.04	1.14	28.45	80.28	0.71	19.32																																
	ENE	1.25	4.87	1.279	0.764	0.966	-0.007	0.166	5.32	7.53	3.29	0.98	27.11	78.73	2.61	19.40																																
	E	1.25	5.28	1.266	0.782	1.106	0.035	0.110	5.49	9.95	3.87	1.06	23.41	81.90	0.22	16.63																																
	ESE	1.25	7.58	1.261	0.886	1.085	0.062	0.111	5.34	7.67	3.65	0.81	22.56	57.82	3.65	12.09																																
	SSW	1.50	4.83	1.537	0.786	1.084	0.029	0.119	5.47	7.97	3.41	0.97	17.17	64.15	1.22	12.94																																
	SW	2.00	7.22	2.078	1.147	1.177	0.077	0.116	4.62	5.85	3.16	0.65	18.36	53.41	4.85	11.03																																
WSW	2.00	5.59	2.078	0.881	1.056	0.029	0.139	4.60	7.67	3.29	0.76	23.18	61.38	0.75	14.32																																	
W	1.75	6.36	1.754	0.800	1.012	0.037	0.132	4.95	8.30	3.29	1.00	24.28	67.38	0.25	16.95																																	
ESC	4.00	8.39	4.081	1.102	1.060	0.091	0.143	3.76	4.57	3.04	0.31	15.89	40.53	3.42	5.63																																	
2	RÉGIMEN CONCOMITANTE T _{m02}												PARÁMETRO DEPENDENCIA H _{m0} -T _{m02}				PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE (para H _{m0_R})																															
	SECTOR	Weibull F(T _{m02})			SECTOR	F(H _{m0})	F(T _{m02})	Dep	SECTOR	a_T _{m02}	b_T _{m02}	PATRÓN DE TORMENTA																																				
		A_T _{m02}	B_T _{m02}	C_T _{m02}								SECTOR	X1	Y1	X2	Y2	δ																															
	NNW	4.176	1.816	1.790	NNW			2.02	NNW	1.170	4.020	NNW	0.41765	0.95478	0.69999	0.96181	1.2284																															
N	6.183	1.630	2.182	N			2.98	N	2.650	3.120	N	0.37505	0.96842	0.62357	0.95934	1.2034																																
NNE	3.814	2.705	2.701	NNE			1.84	NNE	1.860	3.510	NNE	0.41739	0.9828	0.63981	0.96499	1.191																																
NE	2.887	2.689	2.048	NE			2.14	NE	1.550	4.010	NE	0.46724	0.97828	0.69766	0.98824	1.209																																
ENE	3.486	1.838	1.470	ENE	A_H _{m0}	A_T _{m02}	1.99	ENE	0.330	5.070	ENE	0.36181	0.95807	0.58862	0.98009	1.1894																																
E	2.787	2.581	2.401	E	B_H _{m0}	B_T _{m02}	1.90	E	2.660	3.310	E	0.37548	0.95679	0.64318	0.97473	1.2241																																
ESE	3.626	1.689	1.784	ESE	C_H _{m0}	C_T _{m02}	2.47	ESE	1.920	3.530	ESE	0.41935	0.97622	0.67553	0.97622	1.2263																																
SSW	3.686	1.659	1.692	SSW	(Tabla 1)	(Tabla 2)	2.46	SSW	1.000	4.250	SSW	0.48621	0.98392	0.68898	0.97178	1.1772																																
SW	4.622	1.458	1.678	SW			3.52	SW	1.030	3.920	SW	0.50607	0.97765	0.72442	0.98404	1.1943																																
WSW	4.085	1.898	2.202	WSW			2.30	WSW	2.610	2.940	WSW	0.43267	0.98311	0.66732	0.98315	1.2138																																
W	3.486	2.123	2.107	W			1.91	W	2.350	3.210	W	0.44311	0.96406	0.67762	0.95748	1.1865																																
ESC	6.183	1.533	2.113	ESC			2.82	ESC	3.190	2.840	ESC	0.42241	0.98088	0.66026	0.96759	1.2065																																
3	RÉGIMEN CONCOMITANTE M												PARÁMETRO DEPENDENCIA H _{m0} -M				MAGNITUD MÁS PROBABLE (para H _{m0_R})																															
	SECTOR	Weibull F(Mg)			SECTOR	F(H _{m0})	F(Mg)	Dep	SECTOR	a_Mg	b_Mg	PATRÓN DE TORMENTA																																				
		A_Mg	B_Mg	C_Mg								SECTOR	X1	Y1	X2	Y2	δ																															
	NNW	0.086	4.102	0.711	NNW			2.08	NNW	-158.74	107.00	NNW	0.41765	0.95478	0.69999	0.96181	1.2284																															
N	0.083	11.448	0.683	N			3.53	N	-787.51	410.91	N	0.37505	0.96842	0.62357	0.95934	1.2034																																
NNE	0.090	7.039	0.659	NNE			2.23	NNE	-397.65	249.43	NNE	0.41739	0.9828	0.63981	0.96499	1.191																																
NE	0.090	6.649	0.613	NE	A_H _{m0}	A_Mg	2.55	NE	-349.56	249.79	NE	0.46724	0.97828	0.69766	0.98824	1.209																																
ENE	0.090	4.574	0.637	ENE	B_H _{m0}	B_Mg	2.72	ENE	-156.59	129.02	ENE	0.36181	0.95807	0.58862	0.98009	1.1894																																
E	0.090	5.405	0.649	E	C_H _{m0}	C_Mg	2.39	E	-198.35	172.23	E	0.37548	0.95679	0.64318	0.97473	1.2241																																
ESE	0.090	7.519	0.569	ESE	(Tabla 1)	(Tabla 2)	2.33	ESE	-561.58	416.53	ESE	0.41935	0.97622	0.67553	0.97622	1.2263																																
SSW	0.090	3.846	0.651	SSW			2.33	SSW	-156.57	124.83	SSW	0.48621	0.98392	0.68898	0.97178	1.1772																																
SW	0.090	11.992	0.785	SW			2.90	SW	-356.21	238.67	SW	0.50607	0.97765	0.72442	0.98404	1.1943																																
WSW	0.09	4.125	0.763	WSW			2.23	WSW	-114.22	81.31	WSW	0.43267	0.98311	0.66732	0.98315	1.2138																																
W	0.09	2.903	0.691	W			1.72	W	-98.34	71.97	W	0.44311	0.96406	0.67762	0.95748	1.1865																																
ESC	0.09	10.158	0.675	ESC			3.73	ESC	-744.79	387.48	ESC	0.42241	0.98088	0.66026	0.96759	1.2065																																
A	A FRECUENCIA MENSUAL DE TEMPORALES												B ALTURA DE RETORNO												C PERIODO MEDIO MÁS PROBABLE												D MAGNITUD MÁS PROBABLE											
	MES	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SSW	SW	WSW	W	ESC	R(años)	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SSW	SW	WSW	W	ESC	R(años)	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SSW	SW	WSW	W	ESC									
	ENE	0.13	0.17	0.10	0.14	0.11	0.10	0.07	0.12	0.16	0.18	0.19	0.16	5	5.3	7.8	5.6	4.7	3.8	3.6	4.2	3.8	5.5	4.8	4.5	7.9	5	7.9	9.0	7.9	7.8	7.2	6.8	7.1	6.8	7.8	7.2	7.2	9.0									
	FEB	0.17	0.15	0.14	0.08	0.11	0.09	0.08	0.07	0.14	0.18	0.14	0.13	10	5.9	8.4	6.1	5.3	4.4	4.0	4.7	4.3	6.0	5.4	5.0	8.6	10	8.2	9.3	8.2	8.1	7.8	7.1	7.4	7.1	8.1	7.5	7.5	9.3									
	MAR	0.12	0.12	0.13	0.15	0.14	0.16	0.13	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13	15	6.2	8.8	6.4	5.7	4.7	4.2	5.0	4.6	6.3	5.7	5.3	9.0	15	8.5	9.3	8.5	8.4	8.1	7.4	7.7	7.4	8.4	7.8	7.8	9.3									
	ABR	0.08	0.07	0.08	0.10	0.15	0.14	0.12	0.15	0.14	0.12	0.09	0.07	25	6.6	9.3	6.9	6.1	5.2	4.5	5.3	4.9	6.7	6.1	5.7	9.4	25	8.8	9.6	8.8	8.7	8.7	7.7	7.7	7.7	8.4	7.8	7.8	9.6									
	MAY	0.07	0.03	0.02	0.04	0.05	0.09	0.12	0.08	0.06	0.03	0.05	0.04	50	7.2	9.9	7.4	6.8	5.7	5.0	5.8	5.3	7.3	6.6	6.3	10.1	50	9.1	9.9	8.8	9.3	9.0	8.0	8.0	8.0	8.7	8.1	8.1	9.6									
	JUN	0.03	0.01	0.04	0.04	0.02	0.02	0.07	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	100	7.8	10.6	7.9	7.4	6.3	5.4	6.3	5.8	7.8	7.1	6.8	10.7	100	9.4	9.9	9.1	9.6	9.6	8.3	8.3	8.3	9.0	8.4	8.4	9.9									
	JUL	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.04	0.05	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	150	8.1	10.9	8.2	7.8	6.7	5.6	6.6	6.0	8.1	7.4	7.1	11.1	150	9.4	10.2	9.4	9.6	9.9	8.3	8.6	8.6	9.3	8.4	8.7	9.9									
	AGO	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	200	8.3	11.2	8.4	8.0	6.9	5.8	6.8	6.2	8.3	7.7	7.3	11.4	200	9.7	10.2	9.4	9.9	10.2	8.3	8.6	8.6	9.3	8.7	8.7	10.2									
	SEP	0.04	0.02	0.03	0.04	0.06	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02	250	8.5	11.4	8.6	8.2	7.1	5.9	7.0	6.3	8.4	7.8	7.5	11.6	250	9.7	10.2	9.4	9.9	10.2	8.6	8.9	8.9	9.6	8.7	8.7	10.2									
	OCT	0.05	0.10	0.10	0.08	0.06	0.10	0.10	0.11	0.08	0.06	0.05	0.12	300	8.6	11.5	8.7	8.4	7.3	6.0	7.1	6.5	8.6	8.0	7.7	11.8	300	9.7	10.2	9.4	10.2	10.2	8.6	8.9	8.9	9.6	8.7	9.0	10.2									
	NOV	0.14	0.14	0.16	0.13	0.11	0.13	0.11	0.17	0.14	0.13	0.16	0.14	400	8.9	11.8	8.9	8.7	7.5	6.2	7.3	6.6	8.8	8.2	7.9	12.0	400	10.0	10.2	9.7	10.2	10.5	8.6	8.9	8.9	9.6	8.7	9.0	10.2									
DIC																																																

