

3. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE OLEAJE

En este apartado se analizan los datos de oleaje con los que se realiza el estudio. Se presenta la procedencia de las fuentes de información, el formato de los datos recogidos y como son tratados para transformarlos a un formato más adecuado, el tiempo de duración de cada registro y, finalmente, como se seleccionan los temporales y los máximos que se utilizaran en el programa Stones.

3.1. Preparación de los datos

3.1.1. Boyas de oleaje

Los datos utilizados en la presente tesina son proporcionados por tres boyas de la red XIOM:

- Boya escalar del “Golf de Roses”
- Boya escalar del “Delta de La Tordera”
- Boya escalar del “Delta del Llobregat”

La cuarta boya que forma parte de la red XIOM situada en el Cap Tortosa no se ha incluido en la tesina porque ya existe un estudio de caracterización extremal en la zona de Tortosa donde se utilizó esta boya, realizado por Herreras (2002 a).

A continuación se describen las características de cada boya:

BOYA ESCALAR DEL GOLF DE ROSES

Tipo de boya: DATAWELL Waverider
Localización: 42° 10,79' N – 03° 11,99' E
Profundidad: 46m
Distancia a la costa: 4'
Punto de recepción: Puerto de Roses
Variables medidas: altura y periodo de ola

BOYA ESCALAR DEL DELTA DE LA TORDERA

Tipo de boya: DATAWELL Waverider
Localización: 41° 38,81' N – 02° 48,93' E
Profundidad: 74m
Distancia a la costa: 1'
Punto de recepción: Puerto de Blanes
Variables medidas: altura y periodo de ola

BOYA ESCALAR DEL DELTA DEL LLOBREGAT

Tipo de boya: DATAWELL Waverider
Localización: 41° 16,69' N – 02° 08,48' E
Profundidad: 45m
Distancia a la costa: 1,34'
Punto de recepción: Port Ginesta
Variables medidas: altura y periodo de ola

Para agilizar la lectura de la tesina no utilizaremos el nombre completo de cada boya, sino que nos referiremos a ellas como la boya de Roses, la de Blanes y la del Llobregat respectivamente.

Las tres boyas son escalares, del tipo Waverider y fabricadas por Datawell. Tienen forma esférica con un diámetro de 70cm. El sensor de medida, ubicado en el interior del casco de la boya, es un acelerómetro suspendido dentro de una esfera en un líquido con una cierta conductividad. Las medidas instantáneas de diferencias de potencial así obtenidas son convertidas a aceleraciones, es decir, miden la aceleración vertical de la superficie del mar al desplazarse verticalmente al paso de la ola. Estas aceleraciones se integran dos veces para, finalmente, obtener las elevaciones que componen la serie temporal de datos brutos.

Los datos son transmitidos a la estación costera, la transmisión se realiza vía radio. La señal analógica se convierte a digital y se analiza. Las mediciones recogidas en la estación costera son sometidas a diversos tratamientos hasta obtener lo que se denomina datos de entrada (altura de ola y periodo). De esta forma se dispone, en tiempo real, de los parámetros más representativos del oleaje. Normalmente las boyas escalares determinan el espectro frecuencial del oleaje asociado al registro durante cierto intervalo de tiempo (suele ser de 20 o 30 minutos) que se reproduce cada cierto número de horas (generalmente 2 o 3). A partir de dicho espectro de oleaje se puede obtener la altura de ola significativa para el cálculo espectral.

Las boyas están dotadas de un osciloscopio que les permite determinar cual es la dirección vertical. Tienen una autonomía de 6 meses (sin mantenimiento), siempre y cuando no sufran ninguna avería. La esfera flota sobre la superficie del mar, pero necesita un anclaje tensionado (peso en el fondo con cable unido a la esfera) que no puede ser mayor de 200m, así la boya permanece siempre en el mismo sitio. Pero puede suceder que debido a un accidente se suelte el cable que la fija al peso y cambie su posición. Para poder localizarla en todo momento, las boyas están dotadas de un sistema de posicionamiento tipo Argos.

En la figura 4 se observa la imagen de una boya Waverider:



Figura 4: Boya de oleaje Datawell Waverider

3.1.2. Características del muestreo de las boyas escalares y formato de los archivos

Los datos recogidos por la boya se envían por radio a la estación receptora situada en la costa, donde son procesadas mediante un software especial y almacenadas en un disco duro. El equipo completo de registro está formado por un receptor tipo WAREC y un ordenador PC con módem y sistema de alimentación.

De los dos tipos de archivos de datos, los espectrales y los estadísticos, se utilizan en esta tesina los espectrales. Los parámetros analizados en los archivos de datos espectrales son los siguientes:

- Epsilon (EPS): Parámetro de anchura espectral. Es un parámetro que indica para $\epsilon \rightarrow 1$ que las alturas individuales de las olas de un registro se adaptan a una distribución de Gauss; para $\epsilon \rightarrow 0$ la distribución es de Raileigh. Este parámetro es el que tipifica la distribución de Cartwright-Longuet-Higgin para las alturas individuales de un registro de oleaje.

- Gamma: Parametrización JONSWAP. Se obtiene calculando un parámetro intermedio m^* definido como M_0/f_p*pp , donde:
 f_p = frecuencia más energética
 pp = potencia máxima del espectro
- Periodo óptimo (TP, TOP): Periodo correspondiente a la frecuencia del espectro con mayor energía.
- Estimador Sea-Swell (ESS): Calculado como PP/M_0 , donde PP es la potencia del pico, la energía o densidad de energía máxima del espectro, y M_0 es el momento de orden cero, equivalente a la energía total del espectro para un registro de oleaje. El ESS cuantifica la característica Sea (mar de viento) o Swell (mar de fondo) del oleaje al registro; si es menor de 11 es Sea y si es mayor se considera Swell.
- Altura significativa para cálculo espectral (H_s): Calculada a partir del momento de orden cero (M_0), como cuatro veces su raíz cuadrada: $H_s = 4 (M_0)^{1/2}$.

Así pues, el formato de los archivos espectrales brutos para los años anteriores al 1998 es el siguiente:

ID-DD-MM-AA-HHMM FM.NP TOP GAMMA EPS H_s M_0 PP Ess

donde:

ID: identificador de registro
 DD-MM-AA: día, mes y año
 HHMM: hora y minutos
 FM.NP: desconocido

El resto de campos han sido explicados anteriormente.

Todos los datos han pasado previamente un filtro de calidad, pero posteriormente se vuelven a procesar los datos con dos objetivos. Por un lado obtener un formato algo más fácil de utilizar y entender puesto que algunos campos de datos originales no están documentados y otros están en un formato variable difícil de tratar. Por otro lado se añadieron nuevos criterios de depuración que eliminaron cierta cantidad de registros. El formato de los archivos depurados espectrales es el siguiente:

Año Mes Día Hora Tp H_s EPS PP Ess

El significado de los campos es el mismo que se ha descrito para los archivos de datos brutos.

Toda esta depuración no ha sido realizada en esta tesina, sino que para la realización de la misma los datos han sido facilitados en el formato de archivos depurados. Además como ya se ha comentado este formato era sólo para los datos anteriores al 1998. Para los años posteriores los datos tenían el siguiente formato:

Año Mes Día Hora NG Hm₀ Ts1 T_{-1,0} Ts2 T_z T_c

donde:

Hm₀: altura de ola significativa (cm)

$$T_{s1} = \sqrt{\frac{M_{-2}}{M_0}} \text{ (seg)}$$

$$T_{-1,0} = M_{-1}/M_0 \text{ (seg)}$$

$$T_{s2} = M_0/M_1 \text{ (seg)}$$

T_z: Periodo medio (seg)

$$T_c: \text{ Periodo medio entre crestas: } \sqrt{\frac{M_2}{M_4}} \text{ (seg)}$$

Éste es el formato de archivo necesario para el programa que se utiliza para la extracción de los temporales y de los máximos. Por lo tanto los archivos anteriores al año 1998 tendrán que ser convertidos a este formato.

3.1.3. Duración del registro

Una vez se dispone de los archivos depurados y con el formato adecuado para su uso, se puede estudiar la duración del registro de cada boya.

De las tres boyas de estudio, dos de ellas, la de Blanes y la del Llobregat se instalaron en el 1984 y la de Roses se instaló en el 1992. Las tres dejaron de ser operativas en el año 1997 y volvieron a utilizarse en el 1999. Así pues, de los años 1998 y 1999 no se disponen de datos. El resto de años no están completos, debido a que hay meses en los que la boya deja de registrar por diversas causas, la más habitual es que se produzcan averías. Por el mismo motivo hay meses que no están completos, puesto que hay días en los que no se ha registrado.

Es importante conocer el tiempo en el que no se dispone de datos. El análisis no sería del todo correcto si se considerase todo el año completo cuando en realidad no lo está, ya que no es lo mismo decir que ha habido un número determinado de temporales en 12 meses que en 7 meses, por ejemplo. La cuestión de la falta de datos es más importante en los meses de otoño o invierno que en los de verano o primavera, porque en estos últimos la probabilidad de que se produzcan temporales importantes es pequeña. En cambio si faltan datos en los meses de otoño o invierno, si que es posible que se hayan dejado de registrar temporales de cierta magnitud que se hubiesen incorporado en el estudio. Para el cálculo de la duración del registro se ha descontado para los meses de primavera y verano, cuando el intervalo sin datos es superior a dos semanas, si la falta de datos corresponde a menos de dos semanas, se consideraba el mes entero. En los meses de otoño e invierno el intervalo se reduce a unos diez días.

Siguiendo el criterio establecido la duración real del registro es:

Roses: 7,42 años
Blanes: 13,77 años
Llobregat: 13,60 años

3.1.4. Metodología de selección de los sucesos extremos

El régimen extremal requiere de la definición de un suceso extremo, o lo que es lo mismo, un estado de oleaje con un cierto contenido energético, por tanto, que se caracterice por un cierto valor de altura de ola, por lo general altura de ola significativa H_s .

En los archivos anteriormente mencionados está el valor de la altura de ola cada 3 horas en los datos anteriores al 1998 y cada hora en los posteriores, así que de cada temporal se puede apreciar cuando empieza, como va aumentando la altura de ola hasta llegar al máximo y como vuelve a descender hasta finalizar el temporal. También se puede producir más de un máximo, con descensos y posteriores ascensos de la altura de ola (pero sólo habrá un máximo absoluto).

De los datos de partida se han de separar los datos que pertenecen a temporales de los que pertenecen a las calmas. Una vez seleccionados los temporales se han de extraer los máximos, que serán los datos con los que se proseguirá el estudio.

En realidad no existe un criterio universal que identifique para cualquier mar (geográfico) lo que puede ser considerado como temporal de olas, sin embargo, se aceptan como válidos una serie de criterios que deben cumplir los valores extremos que se seleccionen:

- Independencia mutua: los eventos seleccionados deben ser independientes, es decir, la población de temporales no deben pertenecer a un mismo evento. Esto significa que no se puede seleccionar dos picos para un mismo temporal, sino que se debe escoger el máximo pico. Se puede estudiar los registros de oleaje de la zona para saber cuanto tiempo ha de pasar entre dos picos para asegurar que sean mutuamente independientes, aunque unos cuantos días suele ser suficiente. En este caso se ha escogido 4 días. Es decir, cada máximo estará separado como mínimo 4 días del siguiente, para asegurar que son independientes.
- Homogeneidad: los temporales pertenecen a la misma población. Son temporales generados por situaciones meteorológicas parecidas. Por ejemplo, no deberían mezclarse episodios de temporal producidos por un maremoto con aquellos generados por la acción continuada de un viento intenso (lo más común). Una manera de distinguir dos poblaciones de alturas de ola diferentes es, por tanto, el uso de información meteorológica histórica. También se puede usar información direccional de las olas para separar distintos tipos de temporales, si se dispone de ella.
- Estacionalidad: el clima de oleaje observado de la zona no se encuentra afectado por tendencias (positivas o negativas) producidas por cambios climáticos (efecto invernadero que modifica los regímenes de viento). Es decir, la probabilidad de

que cierto suceso tenga lugar no varía de año en año. En la actualidad parece demostrado que esta condición no se cumple cuando nos encontramos en escalas de tiempo grandes, aunque sin embargo las variaciones observadas en las tendencias o bien cubren periodos de tiempo relativamente cortos (en el mar del Norte se ha observado un aumento de los valores medios de altura de ola en los últimos 20 años) o bien no representan cambios significativos.

Para la selección de los temporales y posteriormente de los máximos se ha utilizado el programa *AnaTorBo*. Para seleccionar un temporal (saber cuando se considera temporal, cuando empieza, cuando acaba, separar un temporal de otro,...) el programa emplea los criterios establecidos por Herreras (2002 b) y que se detallan a continuación:

- Altura mínima significativa: es el valor a partir del cual se considera que existe un temporal. Es el umbral de altura (H_0) que se ha de fijar según el método POT. Este umbral se ha establecido en 1,5m. El segundo umbral establecido es de 2,0m, y se ha establecido un tercer umbral de 2,5m. Como es de esperar cada grupo tiene menos datos que el anterior y más que el posterior. En la ROM 03.91 se encuentra la tabla 2.4.1 donde se definen, para los distintos sectores de la costa española, los valores mínimos a considerar como situaciones de temporal (ver figura 5). Para el área del litoral catalán la altura de ola significativa umbral que definen es de 2,0m. Para el estudio realizado en la tesina se ha utilizado este valor y dos más, un valor inferior (1,5m) porque en este grupo habrá una gran cantidad de máximos, y un valor superior (2,5m) porque los temporales que superan este umbral son eventos energéticos que pueden dar resultados interesantes.
- Intervalo de tiempo máximo sin datos (horas): este valor se usa para que el análisis del temporal se pueda hacer aunque falte algún dato, el intervalo indica la duración máxima del lapso sin datos para considerar que el temporal no se ha acabado, es decir, si el número de horas durante las que no hay datos en la serie es estrictamente mayor a este límite, se considera que el temporal se ha acabado en el último punto antes de este hueco de datos. Si el número de horas durante el que no hay datos es igual o inferior a este límite, se considera el mismo temporal.

Para esta tesina se ha considerado un intervalo máximo sin datos de 6 horas. Es decir, datos separados más de 6 horas pertenecen a temporales diferentes. Y si están separados 6 horas o menos, es que pertenecen al mismo temporal.

TABLA 2.4.1. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA INFORMACIÓN INSTRUMENTAL ANALIZADA						
	Área	Boya de medida	Coordenadas de situación	Profundidad de fondeo en BMVE (m)	Periodo de medida	$H_{s,T}$ (m)
	I	Bilbao (Morro)	43° 22' 55" N 3° 4' 24" W	35	1976-1984	3,0
		Bilbao (Ext.)	43° 24' N 3° 8' 36" W	50	1985-1990	
		Gijón	43° 34' N 5° 39' W	23	1981-1990	
	II	Coruña	43° 24' 45" N 8° 23' W	50	1985-1990	3,0
	III	Cabo Silleiro	42° 1' 48" N 8° 56' 30" W	75	1986-1990	3,0
	IV	Sevilla	36° 44' 15" N 6° 29' 6" W	12	1983-1988	1,5
		Cádiz	36° 30' 20" N 6° 20' 10" W	22	1982-1990	
	V	Ceuta	35° 54' 10" N 5° 19' 30" W	21	1984-1990	1,0
		Málaga	36° 41' 30" N 4° 25' W	25	1984-1990	
	VI	Cabo de Palos	37° 39' 15" N 0° 38' 18" W	67	1985-1990	1,5
VII	Alicante	38° 15' N 0° 25' W	50	1982-1990	1,0	
	Valencia I	39° 27' 05" N 0° 17' 43" W	21	1982-1990		
VIII	Rosas	42° 11' 43" N 3° 11' 15" E	50	1986-1987	2,0	
	Palamós	41° 49' 24" N 3° 10' 42" E	90	1986-1990		
IX	Palma de Mallorca	39° 24'/26,5" N 2° 39'/34,2" E	55/45	1983/ /1986-1987	1,5	
X	Tenerife	28° 27' 18" N 16° 14' 54" W	65	1981-1990	1,5	
	Las Palmas I	28° 08' 30" N 15° 27' 30" W	42	1981-1990	2,0	

LEYENDA:

$H_{s,T}$ = Altura de ola significante umbral establecida para la consideración de condiciones de temporal

Figura 5: Valores mínimos de temporal según la ROM 03.91

- Intervalo de tiempo máximo por debajo de la altura de ola límite (horas): es lógico que en un temporal no todas las olas sean iguales ni todas superen el umbral de altura límite establecido. Existe un intervalo de tiempo en que el valor de la altura de ola de la serie está por debajo de la altura límite que define el temporal, sin que eso signifique que se ha acabado el temporal, siempre y cuando luego la altura de ola vuelva a superar el límite. El uso de este parámetro puede dar lugar a que la altura de ola media del temporal sea inferior a la altura de ola límite.

En esta tesina se ha considerado un intervalo máximo de 6 horas. Es decir, si durante 6 horas o menos la altura de ola de la serie es inferior a la altura límite, el temporal no ha acabado. En cambio si esto sucede durante más de 6 horas, el temporal se da por finalizado.

- Duración mínima del temporal (horas): sólo se tienen en cuenta los temporales con una duración mayor o igual que un valor límite, que se ha considerado de 6 horas. Todo temporal cuya duración sea inferior a este valor no se considerará para el análisis.

Una vez obtenidos los máximos se procede a utilizar el programa de fortran Stones con el que se estudia el comportamiento de las funciones de distribución.

3.2. Uso del programa Stones

En este apartado se pretende explicar con más detalle como se trabaja con el programa de fortran Stones.for, como es el archivo de entrada de datos y los archivos de resultados.

3.2.1. Archivo de entrada de datos

El programa cuenta con varias posibilidades en lo que respecta a las funciones de distribución, métodos de ajuste, *plotting position* e intervalo de confianza:

- En primer lugar se introduce el tipo de distribución a utilizar, que puede ser cualquiera de las tres explicadas en el apartado 2.3.2.: Weibull, Gumbel o Frechet, y también otras pero que no se utilizan en la tesina. Hay que ajustar los parámetros de las funciones, y para ello el programa da la opción de fijar el valor de alguno de los parámetros o la de no fijar ninguno y dejar que el programa optimice los 2 o 3 parámetros existentes según la función. Esta última opción es la que se ha utilizado.
- En cuanto al método de ajuste se elige de entre los explicados en el apartado 2.3.3.: método de los momentos, máxima verosimilitud y mínimos cuadrados. En este último caso se debe elegir también la *plotting position*. Se escoge una u otra *plotting position* según las recomendaciones hechas en el mismo apartado, que también se pueden ver en el archivo de entrada de datos.

Con las funciones de distribución se puede asignar un periodo de retorno a una altura de ola dada y viceversa, así que hay que darle al programa los periodos de retorno para los que se desea estimar la altura de ola asociada y las alturas de ola para las que se busca el periodo de retorno. En el primer caso los periodos (en años) que interesan son: 5, 7, 10, 15, 25, 50, 100, 200 y 500. Y las alturas para las que estimamos los periodos van de 3 a 8 metros (ambos incluidos) en intervalos de 0,5 metros. En ambos casos se especifica la confianza deseada para el intervalo de confianza tanto para las alturas de ola, como para el periodo de retorno. La confianza utilizada es del 90%, es decir, la confianza de que la altura de ola o el periodo estén en el intervalo buscado es del 90%. También se elige el método para obtener este intervalo de confianza, dando la posibilidad de no buscar dicho intervalo.

En cuanto a los datos registrados por las boyas el programa necesita la siguiente información:

- El número de datos de la serie total (para Hs 150)
- La duración del registro, en años, descontando los periodos sin datos.
- Las alturas de ola umbral definidas para el método POT
- Los máximos independientes extraídos de los temporales para cada umbral

El criterio de bondad de ajuste que utiliza el programa es el de Kolmogorov-Smirnov con el que se comparan los diferentes ajustes y permite elegir entre ellos. Al programa hay que darle el nivel de significación deseado.

Por último hay una información complementaria a completar en caso de que se efectúe el ajuste por mínimos cuadrados. Primero se escoge el tipo de correlación deseada, se ha elegido en esta tesina la de Goda tal y como recomienda Vergés (1995) en el archivo de entrada de datos, después está la opción de considerar el número total de olas seleccionadas (las de Hs 150) en lugar de solo las que superan el umbral (en la fórmula de la *plotting position*). Es una manera de trabajar con datos censurados, eligiendo solo las alturas que superen el umbral.

En el anejo número 1 de esta tesina se muestra el archivo de entrada de datos del programa Stones.

3.2.2. Archivos de resultados

Una vez ejecutado el programa, se crean tres archivos de resultados.

En el primer archivo se almacenan algunos resultados numéricos como el número de alturas de ola tratadas, la media y la desviación típica de los datos. También se encuentran en este archivo una serie de datos sobre el test de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (KS), como son la máxima diferencia entre la función de distribución real y el histograma empírico; la significación límite, tal que si el test se hace con una significación menor se acepta y si es mayor se rechaza, es decir, es la significación máxima a la que sería aceptable el ajuste por este test; y por último, la

verosimilitud del test. Según Vergés (1995) cuanto mayor es el valor de verosimilitud mejor es el ajuste. En caso que el ajuste se rechace, se escriben los datos a causa de los cuales esto sucede. Cuando se ajusta mediante mínimos cuadrados se escribe también el coeficiente de correlación.

Otros datos que se almacenan en este archivo son los parámetros de las distribuciones que el programa ha ajustado optimizando los 2 o 3 parámetros según el caso.

También se escriben en el archivo las estimas de altura de ola para los periodos de retorno dados, y las estimas de los periodos para las alturas de ola dadas y, por último, se muestran algunos resultados numéricos de los intervalos de confianza.

En el segundo archivo de resultados se guarda la información del gráfico con los valores de altura de ola y periodo de retorno de la función empírica, de la función de distribución, de las observaciones y de los intervalos designados por el test K-S, tanto el superior como el inferior, en este caso con una significación del 10%, así como los intervalos de confianza para las alturas de ola, en este caso con una confianza del 90%.

En el tercer y último archivo de resultados se guardan los intervalos de confianza para el periodo de retorno.

