

CALIBRACION DE OBSERVACIONES VISUALES DE OLEAJE EN LA COSTA DEL DELTA DEL EBRO (I: ANALISIS ESCALAR)

José A. Jiménez y Joaquín Sospedra*

Se ha realizado un análisis de calibración de medidas visuales de oleaje (altura y período) en la costa del Delta del Ebro, a partir de dos años de datos en los que se dispone de datos simultáneos medidos por una boya direccional. Los resultados obtenidos muestran una buena correlación entre la altura de ola visual (la máxima de sea y swell) y la altura de ola significativa medida, aunque hay que aplicarle una relación de corrección ya que los datos visuales son mayores. Los períodos visuales (el máximo de sea y swell) aunque presentan una baja correlación con los datos medidos debido al corto rango de períodos existentes, dan un orden de magnitud aceptable de los períodos característicos de la zona, aunque ligeramente inferiores.

An analysis of calibration of visual wave data (height and period) has been made in the Ebro Delta coast using two years of simultaneous data of a directional waverider buoy. The obtained results show a good correlation between the visual wave height (the maxima of sea and swell) and the measured significant wave height, although a conversion relationship must be applied since visual wave data are higher. The visual wave periods (the maxima of sea and swell) present a low correlation with the measured ones due to the short range of existing periods. However, the order of magnitude of the visual period is closer, although slightly shorter, to that of the measured one.

1. Introducción

El conocimiento de las características del oleaje existente en la zona costera es el requerimiento básico para desarrollar cualquier estudio sobre los procesos litorales que tienen lugar a lo largo de una costa determinada. Generalmente, el grado de conocimiento es proporcional al período de tiempo en el que se disponga de medidas. Este requerimiento básico suele constituir un problema a la hora de abordar estudios de este tipo en al-

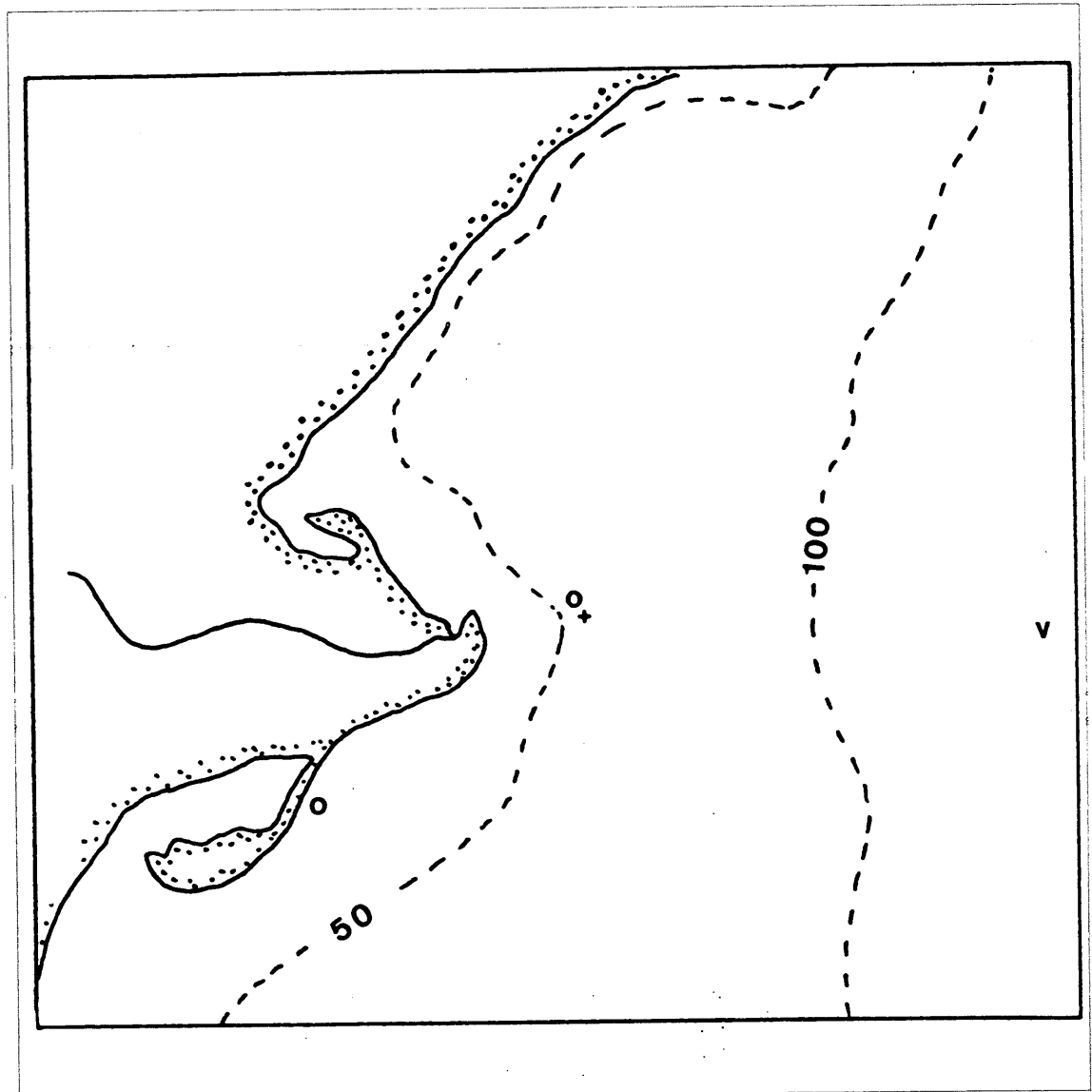
gunas zonas costeras. Aunque el litoral español está relativamente bien cubierto por la "Red de Medida y Registro de Oleaje, REMRO" (ver e.g. Ruiz y Sánchez-Freijo, 1991), se realizan numerosos estudios en zonas donde no existen boyas de oleaje para suministrar medidas directas del mismo. En estos casos, se suele recurrir o bien a estudios de previsión, o a observaciones visuales de oleaje obtenidas por barcos en ruta (ver e.g. López y Sánchez-Freijo, 1991, donde se actualiza la disponibilidad de este tipo de información).

Los datos visuales de oleaje, aunque tienen un grado de incertidumbre debido a la subjetividad que conlleva toda medida visual, tienen la ventaja

*Laboratori d'Enginyeria Marítima. Universitat Politècnica de Catalunya.

Recibido en ROP: abril 1994

Figura 1. Localización de puntos de registros de oleaje en la costa del Delta del Ebro (o: datos boya direccional, +: datos boya escalar, v: datos visuales Casablanca)



de que existen en casi todos las costas del mundo, cubriendo períodos de tiempo donde no existe ninguna información adicional, además de

constituir generalmente series temporales bastante largas. Por ello, este tipo de datos suele ser una de las principales fuentes de datos para los

TABLA 1. Descripción básica de los datos de oleaje disponibles en la zona del Delta del Ebro.

PERIODO	TIPO DE REGISTRO	PROF. (m)	DATOS REGISTRADOS
1978-82	Boya omnidireccional	60	H, T
1983-92	Datos visuales obtenidos en la plataforma Casablanca	168	H, T, θ (sea y swell)
1990-92	Boya direccional en aguas profundas	50	H, T, θ
1991-92	Boya direccional en aguas someras	8	H, T, θ

estudios de dinámica costera, así como para el diseño de obras marítimas (e.g. Martín Soldevilla, 1992).

En la costa del Delta del Ebro, aparte de la colección de datos obtenidos por barcos en ruta, la colección de datos más amplia y sistemática es la obtenida visualmente en la plataforma Casablanca de Repsol Exploración S.A. (desde octubre 1983 hasta el presente). Además de estas colecciones de datos, en la zona han existido y existen fuentes adicionales de datos, constituidas por boyas escalares y direccionales. En la tabla 1 se resumen las características de los registros de datos de oleaje existentes en la costa del Delta (ver figura 1 para su localización).

Algunos de los estudios realizados hasta la fecha acerca de las características del oleaje en la zona son, entre otros, los debidos a Monsó et al. (1988), Gracia et al. (1989), Gómez y Sospedra (1991), Sospedra (1993a, 1993b). El estudio más reciente y quizás el único que intenta compilar la información existente de los datos de oleaje de la zona es el realizado por García et al. (1993), donde se hace una primera descripción de las características del oleaje desde 1978 hasta 1992. La principal aportación del citado estudio es el análisis sectorizado del oleaje de la zona, en función de tres direcciones principales (E, S y NW). En dicho trabajo, para describir el oleaje a largo plazo, se utiliza de forma conjunta los datos visuales de Casablanca con datos medidos por una boya omnidireccional y por una boya direccional. Observando los resultados obtenidos en el análisis de máximos, puede verse que generalmente, los máximos visuales exceden de forma más o menos significativa los registrados por las boyas. Esto, puede ser real, pudiéndose haber dado la situación de que esos años fueron mucho más severos en cuanto a condiciones de oleaje, o bien puede ser debido a una comparación sesgada, en el caso de que las observaciones visuales y los datos medidos no fuesen equivalentes, por lo que habría que hacer un análisis de calibración entre los datos visuales y los medidos.

Uno de los pocos intentos de calibración de las observaciones visuales de oleaje en la zona fue realizado por el CEDEX (1988), en donde se comparaba cualitativamente los datos visuales de oleaje obtenidos en la plataforma Casablanca durante el período 1984-1988, con observaciones visuales de barcos en ruta. Debido a que se com-

paraban períodos de tiempo diferentes, y ambas medidas eran visuales, no se obtuvo ninguna relación que permitiese corregir dichos datos si fuese necesario.

En este trabajo se hace una calibración de los datos visuales tomados en la plataforma Casablanca, a partir de dos años de datos en los que se dispone de medidas simultáneas de una boya direccional situada en la zona. El objetivo que se busca es la estimación del rango de fiabilidad de todos los parámetros escalares observados visualmente (altura y período), estimando cuando sea necesario y posible, relaciones de conversión a aplicar a las medidas visuales para convertirlas en "reales".

2. Datos utilizados

En este estudio se utilizan dos conjuntos de datos simultáneos (visuales y medidos) tomados en la costa del Delta del Ebro durante el período Junio de 1990/ Junio de 1992. Los datos visuales han sido obtenidos en la plataforma Casablanca (Repsol Exploración S.A.), situada a $40^{\circ}43'18''N$ y $01^{\circ}21'42''E$, a una profundidad de 168 m. Los datos de oleaje medidos han sido obtenidos por la boya direccional Delta1 (Direcció General de Port i Costes, Generalitat de Catalunya), situada a $40^{\circ}44'06''N$ y $00^{\circ}58'06''E$, a una profundidad de 50 m.

Aunque los datos de oleaje han sido obtenidos a diferentes profundidades, ya que los períodos típicos del oleaje en la zona son muy bajos, se ha considerado que las olas registradas por la boya direccional no están afectadas por fondo. Si se acepta que la altura de ola comienza a modificarse a partir de $d/L_0 < 1/2$, la profundidad de 50 m representa el límite de aguas profundas para una ola de período 8 s.

■ Datos visuales

Los registros visuales de oleaje se realizan desde los *supply* que actúan como barcos de apoyo de la plataforma Casablanca. Los parámetros medidos son los siguientes:

- altura, período y dirección de olas de viento,
- altura, período y dirección de olas de mar de fondo.

TABLA 2. Análisis de regresión entre la altura de ola significativa medida con la boya direccional y los datos visuales de oleaje para la costa del Delta del Ebro durante el período Junio 1990-Junio 1992 (*) en el caso de que sólo exista una observación -sea o swell-, H_v toma el valor de dicha observación)

Altura	$H_s = A H_x + B$		N. observ.	Coef. Corr.
	A	B		
H_{sea}	0.38	0.44	2014	0.68
H_{swell}	0.37	0.39	1448	0.62
H_{max}	0.39	0.36	2284	0.70
H_{min}	0.40	0.44	2284	0.68
$H_v(*)$	0.35	0.37	2284	0.68

El intervalo de muestreo es de seis horas (se toman medidas a las 6, 12, 18 y 24 horas), coincidiendo con los turnos de guardia en el puente del buque. Todas las medidas obtenidas son instantáneas.

La medida de la altura de ola se realiza tomando como referencia una de las patas de la plataforma que está marcada con franjas negras y blancas. Los períodos se calculan a partir del tiempo transcurrido entre dos senos o dos crestas consecutivas. La dirección de incidencia se obtiene con la ayuda de la brújula del puente.

■ **Datos de la boya de oleaje**

Las medidas se han obtenido utilizando una boya de oleaje direccional *Datawell Directional Waverider*, fondeada el 15 de junio de 1990 al es-

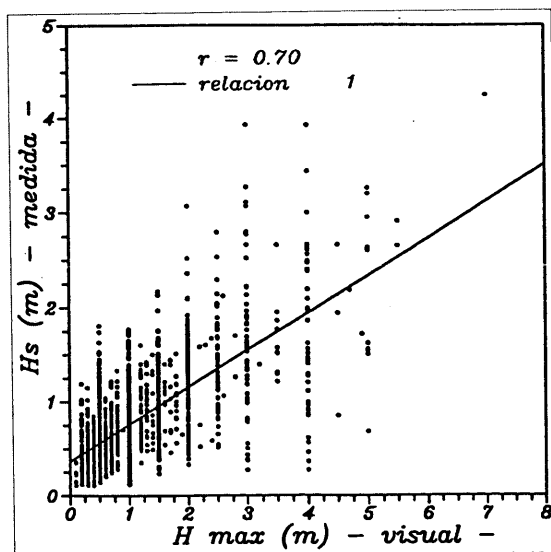


Figura 2. relación entre la altura de ola medida (H_s) y la altura de ola visual (H_{max}) en la costa del Delta del Ebro para el período junio de 1990-junio de 1992 a partir de medidas simultáneas.

te de Cap Tortosa. Los datos recogidos por la boya son enviados via radio a una estación receptora situada en el Port de la Ametlla de Mar. El equipo completo de registro está compuesto por un receptor tipo *Warec*, un PC y una impresora matricial.

La boya suministra dos tipos de datos: datos en tiempo real y datos espectrales. Los datos en tiempo real son medidas de aceleración en tres ejes obtenidas cada 1/1.28 seg., y que son transformadas en desplazamientos sobre el eje vertical y en las direcciones norte y este por doble integración en el dominio del tiempo. A partir de estos datos el receptor construye series temporales de alturas y períodos de 512 olas.

Los datos espectrales son transformadas rápidamente de Fourier de 8 series de 256 medidas consecutivas de desplazamientos. Los 2048 puntos se obtienen en 1600 seg. (26' 40"). En el interior de la boya se calcula el espectro medio de los 8 análisis y es enviado 7 veces a tierra. Los datos son considerados como válidos cuando el contenido de dos transmisiones consecutivas es idéntico.

El intervalo de muestreo en condiciones normales es de 3 horas, aunque cuando la altura de ola sobrepasa un umbral de altura de ola prefijado (usualmente 1.75 ó 2.0 m) el sistema pasa a funcionar en continuo hasta que disminuya la altura de ola por debajo del umbral.

Los distintos parámetros registrados son (para la notación se sigue las normas de IAHR, 1986):

Parámetros estadísticos: H_{max} , T_{max} , $H_{1/10}$, $T_{1/10}$, $H_{1/3}$, $T_{1/3}$, H_m y T_m ;

Parámetros espectrales: T_p , θ , dispersión direccional correspondiente al pico del espectro, T_z y H_{m0} .

3. Análisis de alturas

Tradicionalmente es más o menos aceptado que a grosso modo, la altura de ola visual tomada por un observador experto puede ser asimilada a la altura de ola significativa. Sin embargo, esto no deja de ser más que una aseveración para tranquilidad del que no posee datos adicionales. Uno de los primeros estudios de comparación de datos visuales de alturas de ola con datos medidos fue el realizado por Cartwright (Hogben et al.,

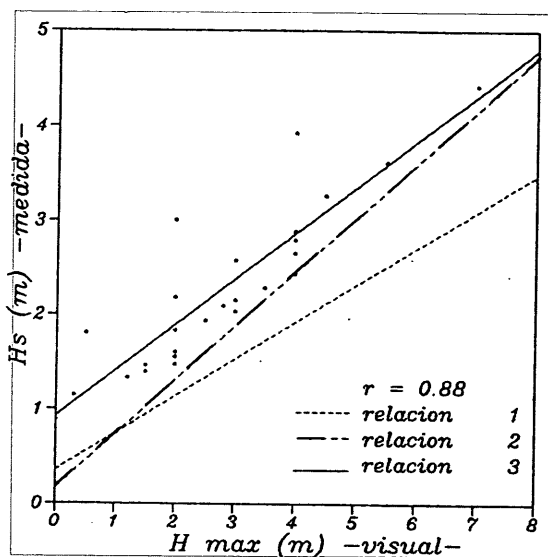
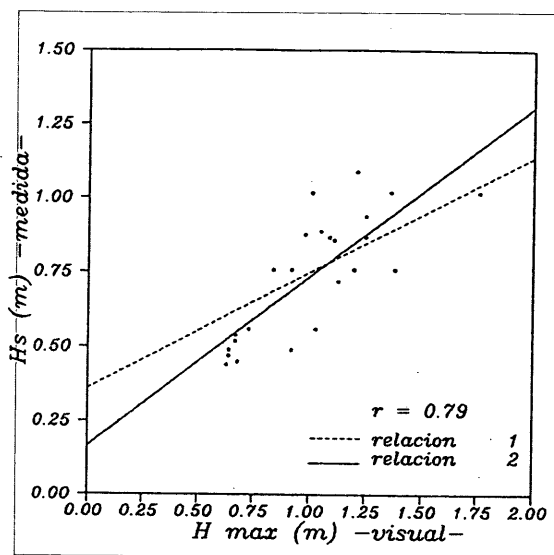


Figura 3. Relación entre la altura de la ola medida (H_s) y la altura de la ola visual (H_{max}) en la costa del Delta del Ebro para el período junio de 1990-junio de 1992 a partir de datos promediados mensualmente. A la derecha, figura 4. Relación entre la ola medida (H_s) y la altura de la ola visual (H_{max}) en la costa del Delta del Ebro para el período Junio de 1990-junio de 1992 a partir de los máximos mensuales.

1966), y desde entonces otros autores han analizado datos adicionales obtenidos en épocas y lugares diferentes (ver Guedes Soares, 1986a).

Para realizar el análisis de las alturas de ola, y puesto que los datos visuales están compuestos por medidas de sea y swell, se analizaron las siguientes combinaciones:

- altura de ola significativa medida por la boya (H_s) versus altura de sea (H_{sea});
- H_s versus altura de swell (H_{swell});
- H_s versus altura máxima observada (H_{max});
- H_s versus altura mínima observada (H_{min}); y
- H_s versus H_v , siendo $H_v = (H_{swell}^2 + H_{sea}^2)^{1/2}$ (Darbyshire y Draper, 1963).

La relación entre cada par de parámetros de todas las combinaciones ha sido investigada a través de un análisis de regresión por mínimos cuadrados, siendo el valor que toma el coeficiente de correlación, el índice de la existencia o no de una relación entre ellos.

Aunque la altura de ola medida (H_s) ha sido considerada como el dato real, y por lo tanto, debería ser tomada como variable independiente en el análisis (e.g. Jardine, 1979), se ha tomado como tal la altura de ola visual, ya que interesa obtener la relación de conversión a aplicar a la altura de ola visual para convertirla en real.

En la tabla 2 pueden verse los resultados obtenidos en el análisis de regresión. De todos los pares analizados el correspondiente a H_s versus H_{max} es el que presenta un mayor coeficiente de correlación ($r=0.70$), aunque la dispersión de los datos es grande (ver figura 2).

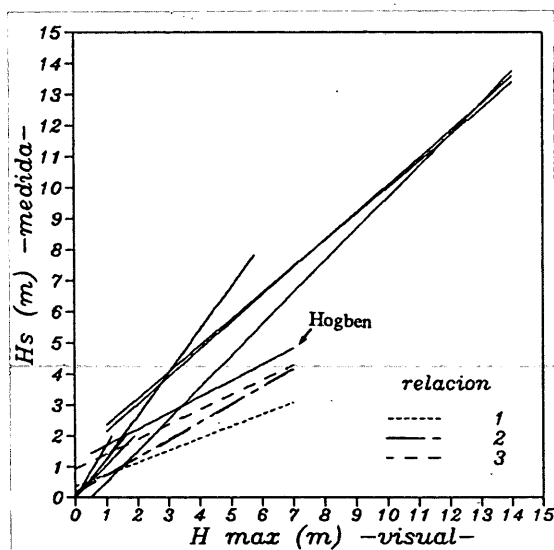
La relación obtenida a partir del análisis de regresión es:

$$H_s = 0.36 + 0.39 H_{max} \quad (1)$$

Para ver el comportamiento de la relación (1) se obtuvo la altura de ola significativa media de cada uno de los meses en los que existían datos visuales. Esta media se realizó sobre el total de datos, independientemente de que hubiese o no una medida visual simultánea. Lo mismo se hizo con el conjunto de datos visuales (para la altura de ola máxima H_{max}). En total se obtuvieron 24 pares de datos cuyo análisis de correlación puede verse en la figura 3. En este caso, puesto que el conjunto de datos es más reducido, y se le ha sometido a un filtrado (promediado de los datos de cada mes), el coeficiente de correlación aumenta de 0.70 a 0.79, obteniéndose una nueva relación entre la H_s medida y la H_{max} observada:

$$H_s = 0.17 + 0.57 H_{max} \quad (2)$$

Figura 5. Relaciones entre la altura de ola medida y observada visualmente (modificado de Guedes Soares, 1986 a)



En la figura 3 puede verse la comparación de la relación (2) con la obtenida a partir de las medidas sin promediar (1). Como característica principal, puede observarse que la relación obtenida a partir de medidas simultáneas (1) tiende a infravalorar las alturas de ola mayores, que precisamente son las más energéticas y, por lo tanto, muy importantes en los procesos litorales.

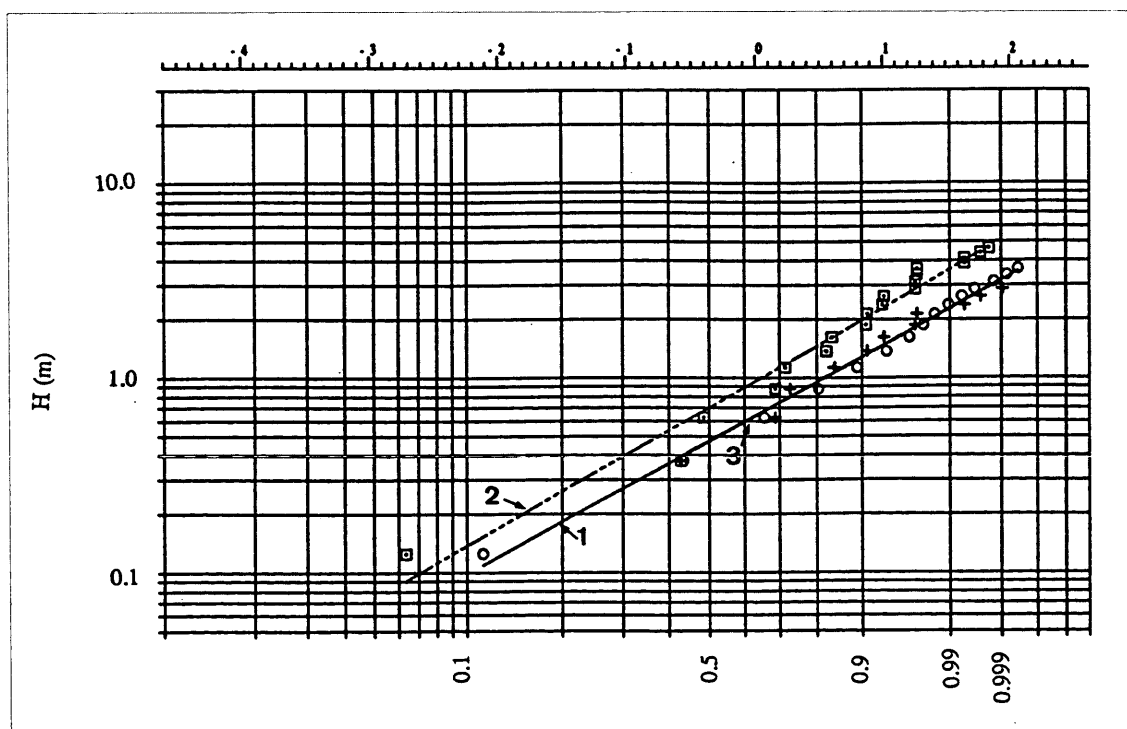
Para ver si este comportamiento era sistemático, y como último test para seleccionar la relación de conversión, se hizo un análisis de máximos. Así, se determinó de cada mes de medidas simultáneas la altura de ola significativa máxima medida, y se comparó con la observada visualmente de forma simultánea (un total de 24 pares de datos). En la figura 4 puede verse el análisis de correlación entre estos datos. En este caso el coeficiente de correlación obtenido es aún mayor ($r=0.88$), y la relación obtenida es:

$$H_s = 0.93 + 0.48 H_{\max} \quad (3)$$

En la figura 4 se han representado también las relaciones (1) y (2). Puede observarse que la relación obtenida a partir de las medidas simultáneas sin promediar (1) infravalora de forma apreciable las alturas de ola máximas en todo el rango estudiado. La relación obtenida a partir de las medias mensuales (2) infravalora las alturas de ola máximas en el rango de alturas bajas ($H_s < 1$ m), tendiendo a converger hacia el valor de la altura máxima a medida que aumenta la altura de ola.

De todo el análisis anterior, se propone la utilización de la relación (2) para convertir la altura

Figura 6. Ajuste a una distribución Weibull de las alturas de ola registradas en el Delta del ebro durante 1991: (1, o) altura de ola significativa medida con la boya direccional; (2, □) altura de ola visual original; (3, +) altura de ola visual corregida mediante expresión (2).



de ola visual (el máximo de la observada -sea o swell-) a altura de ola "real".

En la figura 5 se comparan las relaciones (1), (2) y (3) con algunas de las propuestas en la literatura (Guedes Soares, 1986a). Puede observarse que de forma general las tres relaciones de conversión obtenidas para la costa del Delta del Ebro, tienen un comportamiento bastante diferente al general. Esto podría ser debido a que todas las relaciones que aparecen en la gráfica han sido obtenidas en el Atlántico Norte, donde las condiciones de oleaje son bastante diferentes de las existentes en el Mediterráneo, y donde las alturas de ola medidas generalmente son mucho mayores que las aquí utilizadas. Asimismo, las medidas utilizadas para la obtención de esas relaciones aunque visuales, son diferentes, ya que han sido tomadas por VOS (barcos voluntarios de observación) y OWS (estaciones meteorológicas oceánicas).

La relación más próxima es la debida a Hogben (1970), deducida a partir de observaciones de datos de barcos de investigación en el Mar del Norte y en el Atlántico Norte. Hay que hacer notar que los coeficientes de correlación obtenidos a partir del análisis de medias mensuales y de máximos, (2) y (3) respectivamente, son del orden de

TABLA 3. Coeficientes de la distribución Weibull de alturas de ola ajustados mediante mínimos cuadrados a partir de los datos registrados en 1991.

Datos	B	C	r ²
Visuales sin corregir	0.961	1.156	0.97
Visuales corregidos	0.643	1.209	0.98
Medidos	0.636	1.205	0.99

los obtenidos en la mayor parte de los análisis hechos en el Mar del Norte.

Por último, y como test final, se ajustó la distribución de alturas de ola del año 1991, tanto de alturas medidas por la boya direccional como las obtenidas visualmente, a una distribución Weibull biparamétrica (ec. 4) mediante mínimos cuadrados.

$$P(H) = 1 - \exp(-(H/B)^C) \quad (4)$$

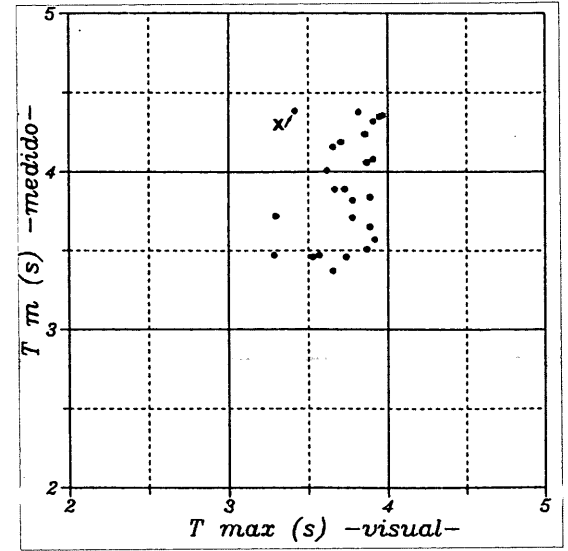
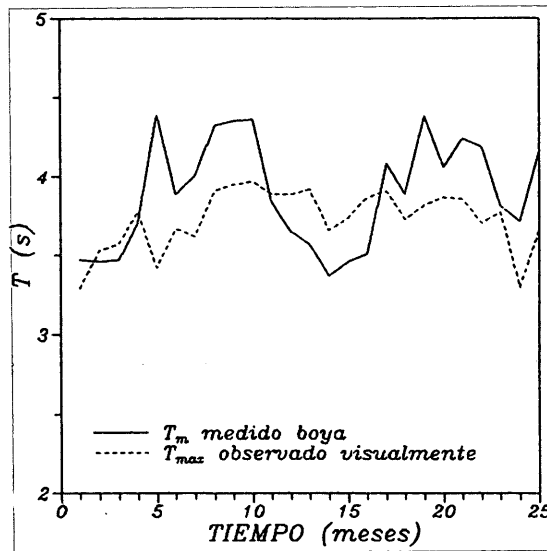
Se han obtenido las siguientes distribuciones:

- alturas de ola visuales sin corregir;
- alturas de ola visuales corregidas mediante la expresión (2); y

TABLA 4. Tabla de encuentros entre períodos medios medidos por la boya direccional (T_m) y períodos visuales máximos observados (sea o swell) durante Junio 1990-Junio 1992.

T _m	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	total
0-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-3	-	6	80	122	4	-	-	-	212
3-4	5	8	367	774	34	8	-	1	1197
4-5	1	15	140	447	26	6	1	1	637
5-6	-	3	49	116	16	13	-	-	197
6-7	-	4	6	16	5	-	-	-	31
7-8	-	1	-	1	2	-	-	-	4
total	6	37	642	1476	87	27	1	2	2278

Figura 7. Relación entre período medio medido (T_m) y el período visual (T_{max}) en la costa del Delta del Ebro (Junio de 1990-junio de 1992) a partir de las medias mensuales. a la derecha, figura 8. Serie de medias mensuales de períodos medios medidos (T_m) y observados visualmente (T_{max}) (junio 1990-junio 1992).



● alturas de ola significantes medidas por la boya direccional.

cuyos ajustes y coeficientes de la expresión Weibull (B y C), así como el coeficiente de determinación (r^2) aparecen en la figura 6 y la tabla 3 respectivamente.

Puede observarse que la distribución de altura de ola significativa medida por la boya, y la obtenida a partir de los datos visuales de oleaje corregidos utilizando la expresión (2) son prácticamente idénticas. La distribución de las alturas de ola visuales originales (sin corregir), aunque presenta una pendiente similar, muestra un desplazamiento hacia los valores más altos (para una probabilidad dada, la altura de ola asociada que se obtendría a partir de los datos visuales originales siempre sería mayor).

Por tanto, a partir del análisis realizado, se puede concluir que aplicando la relación (2) a las alturas visuales de ola (el máximo de sea o swell), se pueden convertir los registros visuales de Casablanca a datos "reales", con lo que se consigue disponer de una serie bastante larga de alturas de ola, que de otro modo, sobrevalorarían el "oleaje real" de la zona.

4. Análisis de periodos

Una vez obtenida la relación de conversión a aplicar a las alturas de ola visuales, se ha hecho el mismo proceso con los períodos registrados visualmente. Así, como los análisis de fiabilidad de

medidas visuales de alturas de ola han sido ampliamente abordados por numerosos autores, existen pocos estudios de calibración de períodos visuales del oleaje, teniendo como característica común las bajas correlaciones obtenidas (Guedes Soares, 1986b).

Para el análisis de los períodos del oleaje se utilizaron las siguientes combinaciones:

- período medio medido por la boya (T_m) versus período de sea (T_{sea});
- T_m versus período de swell (T_{swell});
- T_m versus período máximo observado (T_{max}); y
- T_m versus período asociado a la altura mayor (T_H).

Un problema adicional para el proceso de calibración de los períodos, es la inexistencia de datos muchas de las veces, sobre todo en el caso de las observaciones de períodos de sea. Al igual que en el caso del análisis de alturas, el valor medido por la boya es tomado como variable dependiente.

Una característica común a todos los pares de datos analizados es la baja correlación obtenida. Así, el coeficiente de correlación máximo que se obtuvo fue de 0.12 para el par T_m versus T_{max} . En la tabla 4 pueden verse de forma agrupada en intervalos de 1 s. los datos analizados.

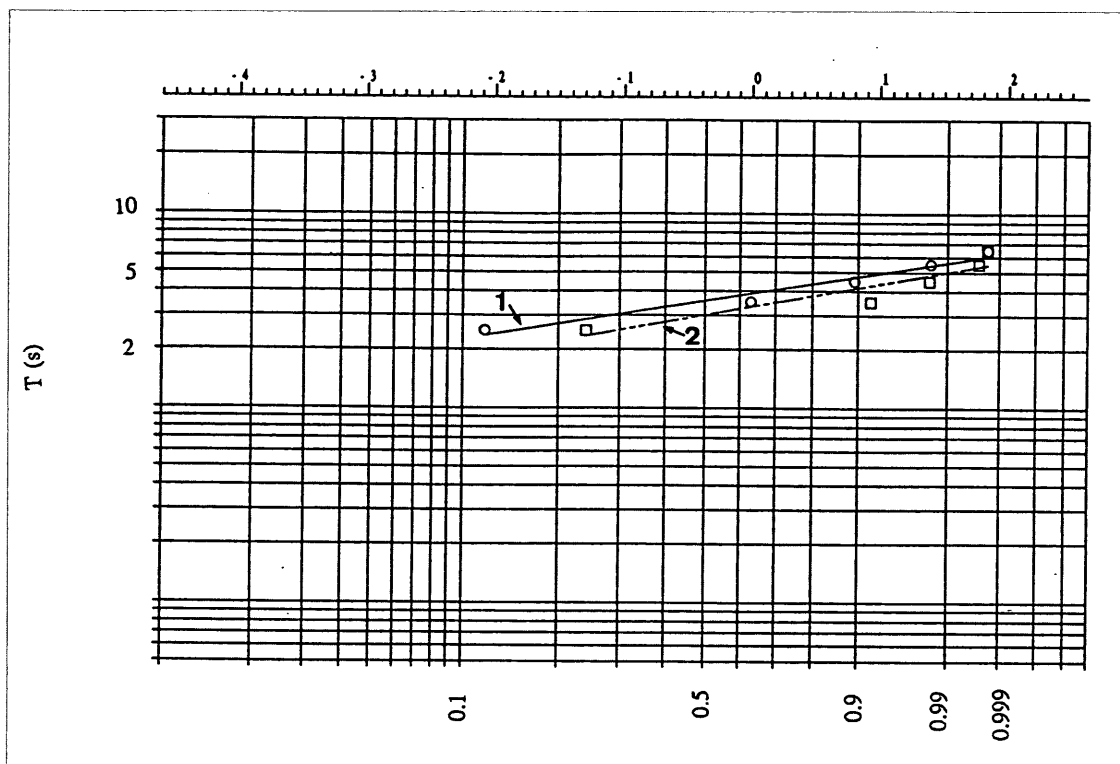


Figura 9. Ajuste a una distribución Weibull de los períodos de ola registrados en el Delta del ebro durante 1991: (1, o) período medio medido con la boya direccional; (2, □) período de ola visual.

En la figura 7 puede verse el período medio medido por la boya (T_m) versus el período máximo observado visualmente, ambos promediados mensualmente. Puede observarse la inexistencia de una relación entre ambas variables. Así, el coeficiente de correlación obtenido aplicando regresión lineal es de 0.32, que aumenta a 0.47 si eliminamos el par (x). Debido a la forma que presentan los datos, se estimó el coeficiente de correlación aplicando regresión polinómica (grado 2), obteniéndose unos coeficientes de 0.36 para el total de los datos y de 0.49 si se eliminaba el par (x). Estos coeficientes aunque mayores que los obtenidos a partir de las medidas simultáneas siguen siendo bajos como para asumir una relación aceptable entre el período medido por la boya y el observado visualmente.

Esta mala correlación puede ser debida a que el rango de períodos medios del oleaje que se presenta en la costa del Delta es muy pequeño, y además son períodos cortos, por lo que su correcta determinación visual es difícil.

Una característica observada en los períodos visuales es la existencia de una variabilidad muy pequeña. En la figura 8 se muestran los períodos medios mensuales de la serie utilizada para la comparación (Junio 1990-Junio 1992), donde

puede observarse que aunque pequeña (1 s.), los períodos medidos por la boya muestran una variación a lo largo del tiempo, que no es observable en los períodos visuales.

Por último, y al igual que en el análisis de alturas de ola, se ajustó la distribución de períodos del año 1991, tanto los medidos por la boya como los obtenidos visualmente, a una distribución Weibull biparamétrica (ec. 4) mediante mínimos cuadrados. Se obtuvieron las siguientes distribuciones:

- máximo de los períodos de ola visuales;
- períodos medios medidos por la boya direccional.

TABLA 5. Coeficientes de la distribución Weibull de períodos de ola ajustados mediante mínimos cuadrados a partir de los datos registrados en 1991.

Datos	B	C	r^2
Visuales sin corregir	3.315	3.693	0.86
Medidos	3.878	4.172	0.96

cuyos ajustes y coeficientes de la expresión Weibull (B y C), así como el coeficiente de determinación (r^2) aparecen en la figura 9 y la tabla 5 respectivamente.

Puede observarse que la distribución de períodos visuales presenta un desplazamiento hacia valores inferiores a los medidos por la boya, aunque la pendiente de ambas curvas es similar. Es decir, para una probabilidad dada, el período que se obtendría a partir de los datos visuales originales (el máximo de los períodos de sea y swell) siempre sería menor que el "real" (medido por la boya). Como ejemplo, se ha estimado la media de los períodos registrados tanto visualmente como por la boya para el intervalo Junio de 1990/Junio de 1992, obteniéndose un valor de 3.74 s para los períodos visuales y 3.93 s para los medidos por la boya.

Por todo ello, aunque no se ha obtenido una relación cuantitativa fiable entre el período medio medido y el observado visualmente para la costa del Delta del Ebro a partir del conjunto de datos disponibles, se ha determinado el rango de validez de los períodos visuales. Así, los períodos observados visualmente aunque menores que los obtenidos por la boya, dan un orden de magnitud del período medio "real" aceptable (diferencia de 0.2 s en el valor medio).

5. Resumen y Conclusiones

Se ha realizado un análisis de calibración de los datos visuales obtenidos en la costa del Delta del Ebro en la plataforma Casablanca, con los datos registrados por una boya direccional. El período de medidas simultáneas utilizado en la calibración es de dos años (Junio de 1990 a Junio de 1992). En esta primera parte del trabajo se presentan los resultados obtenidos al analizar únicamente los parámetros escalares (altura y período). En el análisis se ha considerado que el dato medido por la boya era el dato "real".

En el caso de las alturas de ola, se ha obtenido que la mejor correlación entre datos visuales y medidos se consigue cuando el dato visual utilizado es la observación máxima de sea y swell. En este caso, al comparar con la altura de ola significativa medida por la boya se consiguen coeficientes de correlación del orden de 0.79, que son los habituales en estudios de calibración en otras áreas.

A partir de este análisis se ha obtenido una relación para convertir la altura de ola visual a "real" (ec. 2).

Al aplicar esta relación a los datos visuales de un año completo, y ajustar la distribución de alturas a una Weibull biparamétrica, se obtuvo que dicha distribución era prácticamente idéntica a la obtenida a partir de los datos medidos.

En el caso de los períodos, los coeficientes de correlación obtenidos fueron muy pequeños para todos los pares analizados. Sin embargo, esto es debido a que el rango de períodos en la zona de estudio es muy corto, por lo que pequeñas variaciones entre el valor visual y el medido hacen que la correlación sea baja.

Por regla general, los períodos visuales son menores que los períodos medios medidos. Así, para el intervalo analizado, el período medio visual fue de 3.74 mientras que el medido fue de 3.93. Al ajustar la distribución de períodos a una Weibull, aunque los ajustes obtenidos muestran una pendiente similar, para una probabilidad dada, el período visual es siempre inferior al medido.

Como conclusión general puede decirse que los datos visuales obtenidos en la plataforma Casablanca durante el período analizado, son lo suficientemente buenos como para ser utilizados en estudios de procesos litorales. Sin embargo, esto podría hacerse siempre y cuando se considere que tienen que ser reconvertidos a datos "reales" en el caso de las alturas, y que los períodos, aún siendo menores que los medidos, nos caracterizan de forma aceptable los valores medios de la zona.

6. Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por la Direcció General de Port i Costes (Generalitat de Catalunya). Este trabajo no habría sido posible sin la inestimable ayuda de Repsol Exploración S.A., quien ha suministrado de forma desinteresada los datos visuales de oleajes tomados en la plataforma Casablanca. Gracias a Felipe Collado quien ha desarrollado el programa de ajuste a una Weibull, lo cual nos ha facilitado parte del análisis realizado. Gracias a Germán Rodríguez (ULPGC) quien nos facilitó algunos estudios de calibración de observaciones visuales.

7. Referencias

- CEDEX.** (1988). «Estudio sobre la regeneración de la Playa del Trabucador (Delta del Ebro, Tarragona)».
- DARBYSHIRE, M. y DRAPER, L.** (1963). «Forecasting wind-generating sea waves». *Engineering*, 195: 482-484.
- GARCIA, M.A.; SANCHEZ-ARCILLA, A.; SIERRA, J.P.; SOSPEDRA, J. y GOMEZ, J.** (1993). «Wind waves off the Ebro Delta, NW Mediterranean». *Journal of Marine Systems*, 4(2/3): 235-262.
- GOMEZ, J. y SOSPEDRA, J.** (1991). «Análisi i proposta de solucions per a estabilitzar el Delta de l'Ebre. Boia d'onatge direccional (Cap Tortosa). Dades obtingudes del 15.06.90 al 30.06.91». LT-3/5. Direcció General de Port i Costes, Generalitat de Catalunya.
- GRACIA, V.; COLLADO, F.; GARCIA, M.A. y MONSO, J.L.** (1989). «Análisi i proposta de solucions per a estabilitzar el Delta de l'Ebre. Clima d'onatge II». LT-2/5. Direcció General de Port i Costes, Generalitat de Catalunya.
- GUEDES SOARES, C.** (1986a). «Assessment of the uncertainty in visual observations of wave height». *Ocean Engineering*, 13, 1: 37-56.
- GUEDES SOARES, C.** (1986b). «Calibration of visual observations of wave period». *Ocean Engineering*, 13, 6: 539-547.
- HOGBEN, N.** (1970). «Measured and visual wave data from trawlers». *Mar. Observer*, 40.
- HOGBEN, N.; LUMB, F.E. y CARTWRIGHT, D.E.** (1966). «The presentation of wave data from voluntary observing ships». Rep. No. 49. Ship Division, National Physical Laboratory.
- I.A.H.R.** (1986). «List of sea state parameters». PIANC, Supl. to Bull. 52, A.A. Balkema, Rotterdam.
- JARDINE, T.** (1979). «The reliability of visually observed wave heights». *Coastal Engineering*, 3: 33-38.
- LOPEZ, C. y SANCHEZ-FREIJO, J.** (1991). «Estudio sobre las observaciones visuales de barcos en ruta del N.C.D.C.». Pub. 46, Programa de Clima Marítimo, MOPT.
- MARTIN SOLDEVILLA, M.J.** (1992). «Estimación del índice de excedencia asociado al oleaje exterior a partir de estadísticas de sea y swell». *Ingeniería Civil*, 83: 117-128.
- MONSO, J.L.; COLLADO, F. y GALINDO, M.** (1988). «Análisi i proposta de solucions per a estabilitzar el Delta de l'Ebre. Clima d'onatge I». LT-2/3. Direcció General de Port i Costes, Generalitat de Catalunya.
- RUIZ, M.I. y SANCHEZ-FREIJO, J.** (1991). «Base de datos. Inventario de la Información de Boyas en Oleaje». Pub. 45, Programa de Clima Marítimo, MOPT.
- SOSPEDRA, J.** (1993a). «Análisi i proposta de solucions per a estabilitzar el Delta de l'Ebre. Boia d'onatge direccional (Cap Tortosa). Dades obtingudes del 01.07.91 al 23.06.92». Direcció General de Port i Costes, Generalitat de Catalunya.
- SOSPEDRA, J.** (1993b). «Análisi i proposta de solucions per a estabilitzar el Delta de l'Ebre. Boia d'onatge direccional (Trabucador). Dades obtingudes del 01.07.91 al 30.06.92». Direcció General de Port i Costes, Generalitat de Catalunya. ■