

Análisis de sensibilidad de observaciones visuales en mallas amplias en lugares de escasez de datos instrumentales

JOSÉ SANTOS LÓPEZ GUTIÉRREZ (*); JOSÉ MANUEL DE LA PEÑA OLIVAS (**); VICENTE NEGRO VALDECANTOS (***)

RESUMEN Diversos estudios han puesto de manifiesto que los datos visuales de oleaje dentro de una malla no se distribuyen uniformemente, pudiendo existir una gran dispersión espacial. Este artículo analiza este fenómeno en grandes mallas y en especial en la zona del Delta del Ebro.

ANALYSIS OF SENSIBILITY OF VISUAL WAVE DATA INTO WIDE NETS IN PLACES WITH A FEW INSTRUMENTAL WAVE DATA RECORDERS

ABSTRACT Some studies are shown that visual wave data are not distributed uniformly into a net, there can be possible to appear a great spatial dispersal. In this paper, it is analyzed this phenomenon for wide nets and its application at Ebro Delta zone.

Palabras clave: Sensibilidad; Mallas; Delta Ebro.

1. INTRODUCCIÓN

La prolija serie de datos instrumentales recogidos tanto por redes como la REMRO, EMOD, etc. (CEDEX-Puertos del Estado (1)), como por las múltiples boyas de medida pertenecientes a Gobiernos Autónomos, por ejemplo, Guetaria (Gobierno Vasco), Tortosa, Trabucador (Generalitat de Catalunya (2)), provoca la duda en el diseño de estructuras en aquellas áreas donde la medición instrumental es escasa, poco fiable o inexistente. En este caso, se recurre a las observaciones visuales, barcos en ruta, con periodo de medición superior a treinta años, donde la información direccional es muy valiosa, pero la cuantificación de escala puede conducir a notables errores.

El objetivo de este artículo es presentar un trabajo sobre el análisis de la sensibilidad de los datos en grandes áreas, discretizando en submallas, comprobando que en ocasiones nos encontramos valorando estructuras en una zona con insuficientes datos, así como, cuestionarse parámetros ondulatorios, tipo periodo, y la direccionalidad del oleaje merecen ser aspectos de reflexión.

2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

En diversos estudios realizados en el Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX, al analizar los datos visuales de oleaje, aparecieron resultados contradictorios en función del tamaño de la malla de obtención de datos elegida. Estudiado este fenómeno se llegó a la conclusión de que los datos visuales de oleaje no están distribuidos uniformemente dentro de la malla. Esto puede ser debido a la forma de obtención de estos datos (3).

Los datos visuales de oleaje son observaciones tomadas por diferentes fuentes como: barcos en ruta, barcos meteorológicos, observaciones de boyas, etc. Los instrumentos de toma de datos utilizados han sido muy variados a lo largo de la historia, pues comenzaron a tomarse datos en el pasado siglo. En 1963 la "International Marine" estableció los cánones para disponer la mejor manera en que debían tomarse los datos para una mejor informatización de los mismos. La serie de datos de que se dispone comprende de 1963 a 1993.

Este procedimiento de obtención de los registros visuales provoca que exista gran densidad de datos a lo largo de las rutas marítimas más usuales y en cambio notable escasez de registros en las proximidades de la costa, donde es difícil que exista presencia de buques. Todo esto queda reflejado gráficamente en la figura 2.

Al abordar el estudio de dinámica litoral del Delta del Ebro en el Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX se tuvo en cuenta esta circunstancia, creándose una metodología específica para el análisis y tratamiento de estos registros en el entorno del Delta (4).

El procedimiento seguido para el estudio del clima de oleaje en torno al Delta del Ebro se puede resumir en los siguientes puntos (figura 3):

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Fundación Agustín de Betancourt.

(**) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de la División de Estudios Litorales. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Ministerio de Fomento).

(***) Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Profesor Titular de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid (UPM).



FIGURA 1. Boya de registro de oleaje.

- 1) Estudio de las características de cada una de las fuentes de datos disponibles, que fueron: datos visuales (National Weather Record Center y Plataforma "Casablanca" de Repsol) y datos instrumentales (Red de Registro de Oleaje de la Generalidad de Cataluña, Red Española de Medida y Registro de Oleaje y boyas de la empresa Shell). (figura 3).
- 2) División de la malla de datos de oleaje de $2^\circ \times 2^\circ$ en 21 submallas de $0.4^\circ \times 0.4^\circ$.
- 3) Estudio de densidades de los registros en cada una de las submallas y comparación de dicha distribución con la distribución "ideal" uniforme.
- 4) Estudio de direcciones principales y alturas de oleaje en cada una de las submallas, tanto para el oleaje Sea como para el Swell.
- 5) Estudio comparativo de los resultados anteriores con los procedentes del resto de las fuentes de información.

3. ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES DE DATOS DE OLAJE

Las fuentes de datos de oleaje que se utilizaron en el estudio fueron las siguientes:

- a) **National Weather Record Center (5):** El Centro Nacional de Registros Meteorológicos está situado en la localidad de Asheville, en el estado de Carolina del Norte en EE.UU. Los datos de oleaje son observaciones tomadas por diferentes fuentes como: barcos en ruta, barcos meteorológicos, observaciones de boyas, etc.



FIGURA 2. Observaciones visuales de oleaje de barcos en ruta [en m]. Fuente: Programa de Clima Marítimo, Puertos del Estado.

- b) **Repsol Exploración (6):** Esta empresa tiene en las proximidades del Delta del Ebro una plataforma petrolífera (*Casablanca*). (figura 3) cuya posición es: $40^\circ 43' 18''$ N; $01^\circ 21' 42''$ E. La profundidad del fondo sobre la que está dicha plataforma instalada es de 165 m. Los datos registrados son datos visuales y direccionales tomados desde el barco de apoyo que tiene la plataforma. La frecuencia de las observaciones es de dos veces al día (a las 06:00 y a las 18:00 horas). La serie de datos comprende del 08/10/1983 hasta 31/05/1988.
- c) **Red Española de Medida y Registro de Oleaje (5):** Consta básicamente de un conjunto de boyas escalares situadas en distintos puntos de la costa española, a poca distancia de ella y, por tanto, ancladas a una profundidad no excesiva. La profundidad de anclaje de las boyas oscila entre 21 y 90 m, lo que indica que todas ellas se encuentran en la plataforma continental. Los datos suministrados por las boyas se procesan y uniformizan en el Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX en Madrid, proporcionando datos escalares en todos los casos. Para el estudio se eligieron los datos de las boyas de Tarragona y de Cabo Tortosa, esta última fuera de servicio desde 1992 (figura 3).
La situación de la baya Tarragona es: $41^\circ 04' 12''$ N; $01^\circ 12' 00''$ E. La profundidad de anclaje es de 35 m. La serie de datos comprende de 11/1992 hasta 06/1995.
La situación de la baya Cabo Tortosa era: $40^\circ 43' 30''$ N; $01^\circ 00' 30''$ E. La profundidad a la que estaba anclada era de 64 m. La serie de datos comprende de 05/1991 hasta 10/1992.
- d) **Red de Registro de Oleaje de la Generalidad de Cataluña (2):** Se trata de una red de características similares a la R.E.M.R.O., pero restringida al litoral catalán. En la zona de estudio se encuentran instaladas dos boyas direccionales. Las características de la instalación de estos equipos son (figura 3):

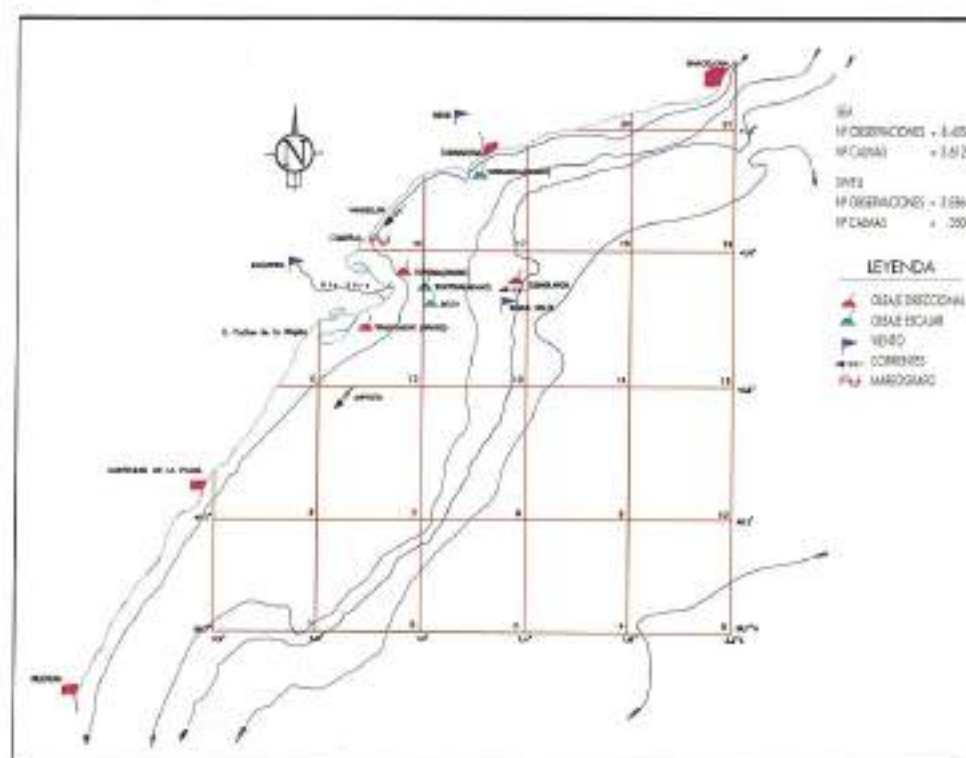


FIGURA 3. Situación de las puntos de toma de datos en el Delta del Ebro.

Cabo Tortosa, situada enfrente del Cabo del mismo nombre y cuya posición geográfica es: $40^{\circ} 44' 06''$ N; $00^{\circ} 58' 06''$ E. La profundidad de anclaje es de 45 m. La serie de datos disponible comprende del 15/06/1990 hasta el 30/06/1994.

Trabucador, su posición es: $40^{\circ} 36' 20''$ N; $00^{\circ} 45' 10''$ E. La profundidad de anclaje es de 8 m. La serie de datos disponible comprende del 01/07/1991 al 30/06/1994.

- e) Shell(7): De forma análoga al caso de la empresa Repsol, la empresa Shell tenía en explotación una plataforma petrolífera en las proximidades del Delta del Ebro, cuya posición era (figura 3): $40^{\circ} 41' 1''$ N; $01^{\circ} 01' 1''$ E. La profundidad del fondo sobre el que estaba instalada es de 67 m. aproximadamente. En las inmediaciones de dicha plataforma había instalada una boya escalar, cu-

yos datos son los que se han cogido para el estudio del oleaje. La serie de observaciones disponible comprende del 05/07/1978 al 30/09/1982.

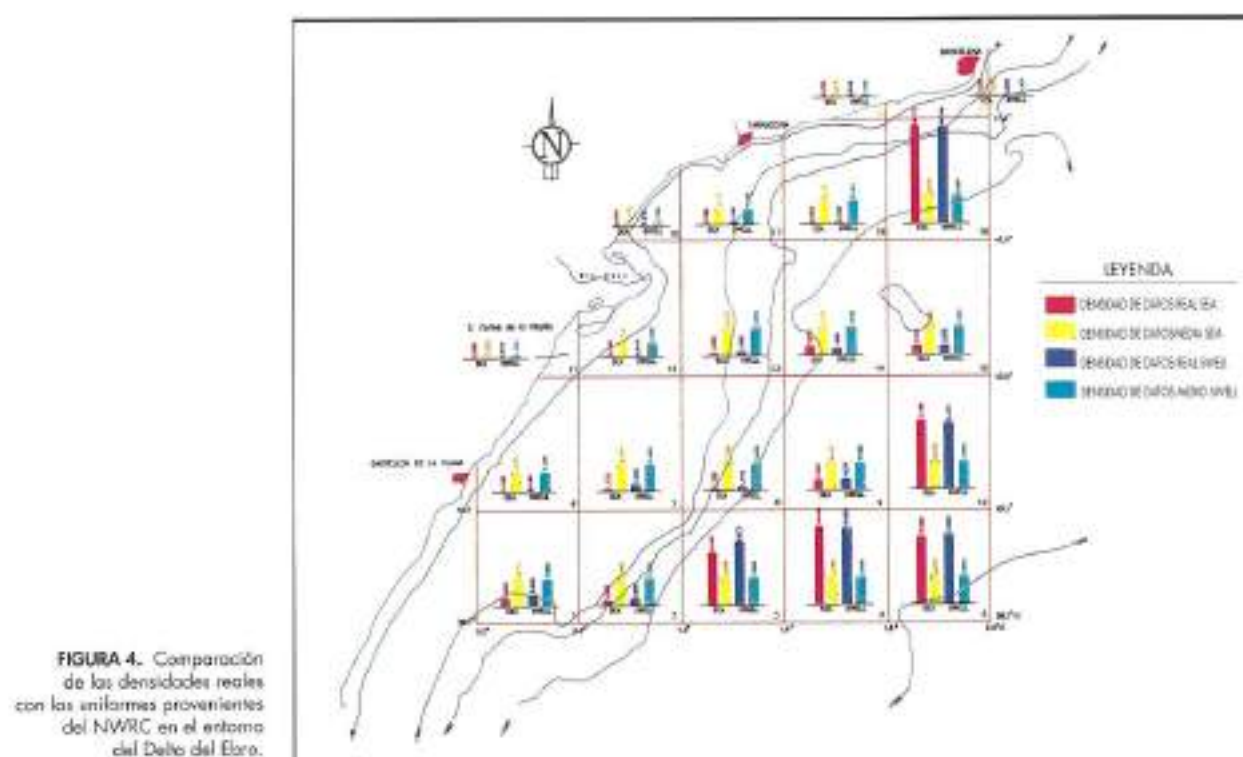
Finalmente se recoge en el Cuadro 1, un resumen de las características más destacadas de cada una de las fuentes.

4. ANÁLISIS DE DENSIDADES DE DATOS VISUALES DE OLAJE EN LA MALLA

Para profundizar más en el análisis de todos estos datos, la malla total se ha dividido en 21 submallas (figura 3) como se ha indicado anteriormente. Cuando se analiza una malla de datos de oleaje de este tipo se supone que la distribución de los datos es uniforme en toda la superficie y por tanto representativa del clima de oleaje del área elegida. Sin embargo,

FUENTES	INWRC	Tarragona (REMRO)	Cabo Tortosa (REMRO)	Cabo Tortosa (RROGC)	Trabucador (RROGC)	Casablanca (REPSOL)	Delta (SHELL)
TAMAÑO DE LA SERIE	1963-1993	11/1992 06/1995	05/1991 10/1992	15/06/1990 30/06/1994	01/07/1991 30/06/1994	08/10/1993 31/03/1988	05/07/1978 30/09/1982
TIPO DE TOMA	Superficial	Puntual	Puntual	Puntual	Puntual	Puntual	Puntual
FORMA DE TOMA	Visual	Boya	Boya	Boya	Boya	Visual	Boya
VARIABLE SUMINISTRADA	Hs, T, dirección	Hs, T	Hs, T	Hs, T, dirección	Hs, T, dirección	Hs, T, dirección	Hs, T
UNIFORMIDAD	No uniforme	Temporal	Temporal	Temporal	Temporal	Temporal	Temporal
FRECUENCIA DE MUESTREO	Heterogénea	2 puntos por segundo	2 puntos por segundo	1.28 puntos por segundo	1.28 puntos por segundo	2 puntos por día	2 puntos por segundo

CUADRO 1. Resumen de las fuentes de datos de oleaje.



esto no sucede en la realidad, ya que las mayores densidades de datos se encuentran en las rutas marítimas, por lo que habrá que considerar dichas variaciones a la hora de obtener conclusiones sobre el clima marítimo en la zona de estudio.

Las densidades de datos de oleaje Sea de la malla elegida se representan en la figura 4. En dicha figura se aprecia la falta de uniformidad en la distribución de los datos. Observando esta distribución hay que destacar la concentración que se produce en seis de las submallas (núm. 3, 4, 5, 10, 15 y 19), las más exteriores respecto del Delta, que tienen el 78,7% de los datos y representan tan sólo el 35% del área total. De estas submallas sobressale la número 19 que tiene el 29,77% de todos los datos registrados. Por el contrario la zona más próxima a la costa es la que posee una menor densidad de datos, así en las 8 submallas que tienen tramo de costa (núm. 6, 11, 12, 16, 17, 18, 20 y 21) sólo se encuentra el 3,6% de los datos y representan todas ellas el 22% de la superficie de la malla total.

Las densidades de datos para el oleaje Swell en toda la malla viene representada en la figura 4, donde se puede observar la falta de uniformidad en la distribución de los mismos. De forma análoga a lo que sucedía en el oleaje Sea, destaca la concentración que se produce en las submallas exteriores (núm. 3, 4, 5, 10, 15 y 19) que tienen el 78,89% de los datos y representan el 35% del área total. De todas ellas destaca la submalla 19 en la que se registran el 29,72% de las observaciones. Por contra, las submallas que tienen tramo de costa (núm. 6, 11, 12, 16, 17, 18, 20 y 21), sólo recogen el 1,27% de las observaciones y representan el 22% de la superficie total. Por tanto, parece conveniente realizar el análisis del oleaje Swell para cada una de las submallas o para grupos de ellas.

El simple análisis anterior indica que la muestra representativa del clima de oleaje en la malla elegida dista gran-

demente de estar uniformemente repartida, siendo más correcto decir que representa el clima de oleaje a una distancia apreciable del Delta, esto es, en los bordes de la citada malla.

Por tanto, parece conveniente, a la vista de estas consideraciones, realizar un análisis de los datos para cada una de las submallas, o para los distintos grupos de ellas que se han elegido. De este análisis se obtienen los siguientes resultados.

Las submallas pueden clasificarse en tres grupos dependiendo de la densidad de datos en cada una de ellas y de su posición respecto al Delta del Ebro. Los tres grupos de submallas son:

- 1) **Submallas núm. 3, 4, 5, 10, 15 y 19** con alta densidad de datos, correspondientes al exterior de la malla y que registran el 78,7% (Sea) y 78,89% (Swell) del total de los datos.
- 2) **Submallas núm. 1, 2, 7, 8, 9, 13 y 14** con baja densidad de datos, correspondientes a la zona intermedia de la malla y que registran el 15,09% (Sea) y 17,17% (Swell) del total de los datos.
- 3) **Submallas núm. 6, 11, 12, 16, 17, 18, 20 y 21** con muy baja densidad de datos, correspondientes a la zona colindante con la costa y que registran tan sólo el 3,49% (Sea) y 1,27% (Swell) del total de datos.

5. ESTUDIO DE DIRECCIONES PRINCIPALES Y ALTURAS DE OLAJE

El siguiente paso, tras el estudio de la distribución de los datos de oleaje en cada una de las submallas, fue analizar cada grupo de ellas por separado y considerando las "ondas de frecuencias de presentación" de cada una de las subma-

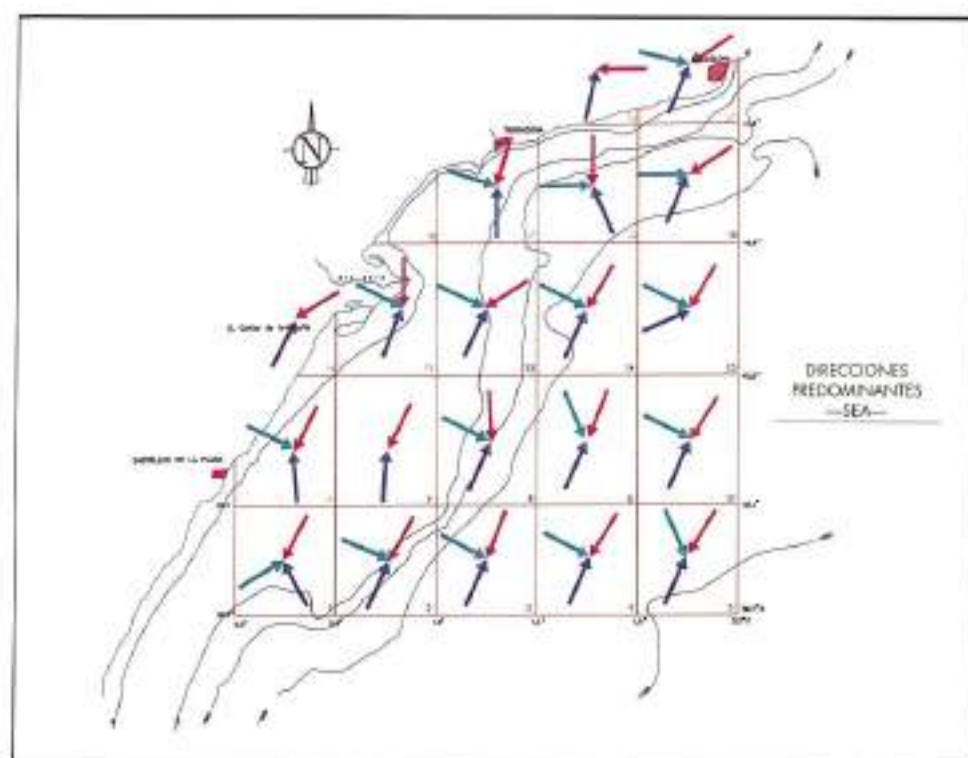


FIGURA 5. Direcciones principales de cada una de las submallas para el oleaje Sea.

llas (figuras 5 y 6) para determinar las direcciones principales y distribución del oleaje alrededor de las mismas, teniendo en cuenta los tres tipos de submallas anteriormente citados, observándose las siguientes características:

- 1) Se trata de las submallas más alejadas del Delta del Ebro. Se observa en todas ellas la existencia de dos direcciones principales, NE-EN y S-SO. También hay que considerar O-NO que en algunas de las submallas tiene una magnitud similar a la S-SO. A lo largo de las submallas varía el valor de la frecuencia de presentación de las dos direcciones, empezando con valores similares y luego destacando el NE-EN, a la vez, que hay una tendencia a desplazarse la dirección principal de NE a E y de forma análoga de S a SO. En la submalla 19, para el oleaje Swell, se aprecia la influencia de la costa no habiendo temporal de las direcciones del 4 cuadrante (N, NO, ON, O y OS), por inexistencia de fetch de generación.
- 2) Estas submallas se sitúan en la zona intermedia del área de estudio. En ellas empieza a disminuir el número de datos registrados. Hay que destacar la aparición de una cuarta dirección principal en torno a ES en las submallas 2 y 8, pero que no aparece en el resto del grupo. Si se observan las submallas situadas en las diagonales 1-7-13 y 2-8-14, se produce un realce de la dirección EN (apuntamiento de la "onda de frecuencia de presentación").
- 3) Estas son las más cercanas a la costa y además las que tienen menos observaciones (la mayoría de ellas con una densidad de datos inferior al 0,1%), por lo que es difícil indicar cuáles son las direcciones predominantes. Sólo se puede hacer un ligero apunte de las mismas en las submallas 6, 18 y 21 donde las densidades de datos son un poco más elevadas que en el resto. Otro punto a destacar es el escasísimo número de datos, por lo que las frecuen-

cias de presentación no son muy representativas del oleaje existente, ya que si en una de las submallas existen dos observaciones, cada una de las direcciones tendrá una frecuencia del 50% y no por ello se podrá asegurar que esas son las direcciones predominantes.

A la vista de lo dicho anteriormente se puede afirmar que en la zona de estudio existen tres direcciones principales:

- a) Grupo de direcciones principales en torno al Norte.
- b) Grupo de direcciones principales en torno al Sur.
- c) Grupo de direcciones principales en torno al Oeste.

Estas direcciones corresponden a los fetch de generación provenientes del Golfo de León (Norte-Noreste), al Ovalo Valenciano (Sur-Suroeste) y a los vientos terrales encauzados por la depresión del Ebro (Oeste-Noroeste).

Los oleajes llamados *nortes* tienen poca variación en su dirección predominante (Noreste), virando a Este-Norte y a Este según nos vamos acercando a la costa. Esta dirección da mayores alturas de ola en las submallas situadas más hacia el sur y más hacia altamar, hecho por otra parte lógico debido a la longitud del fetch de generación en esa dirección.

Los oleajes llamados *sures* tienen pocas variaciones en su dirección principal (Suroeste), pudiéndose apreciar que, según nos desplazamos de sur a norte, va rotando de Suroeste a Sur. Las alturas de ola que se registran en estas direcciones están comprendidas entre los 2 y 3,5 metros, dándose los valores más altos en las submallas más alejadas de la costa.

La tercera de las direcciones principales, *oestes*, corresponde a oleajes generados por los vientos procedentes de tierra. Los vientos terrales están claramente influenciados por la geografía de la zona. Así, las submallas más próximas al

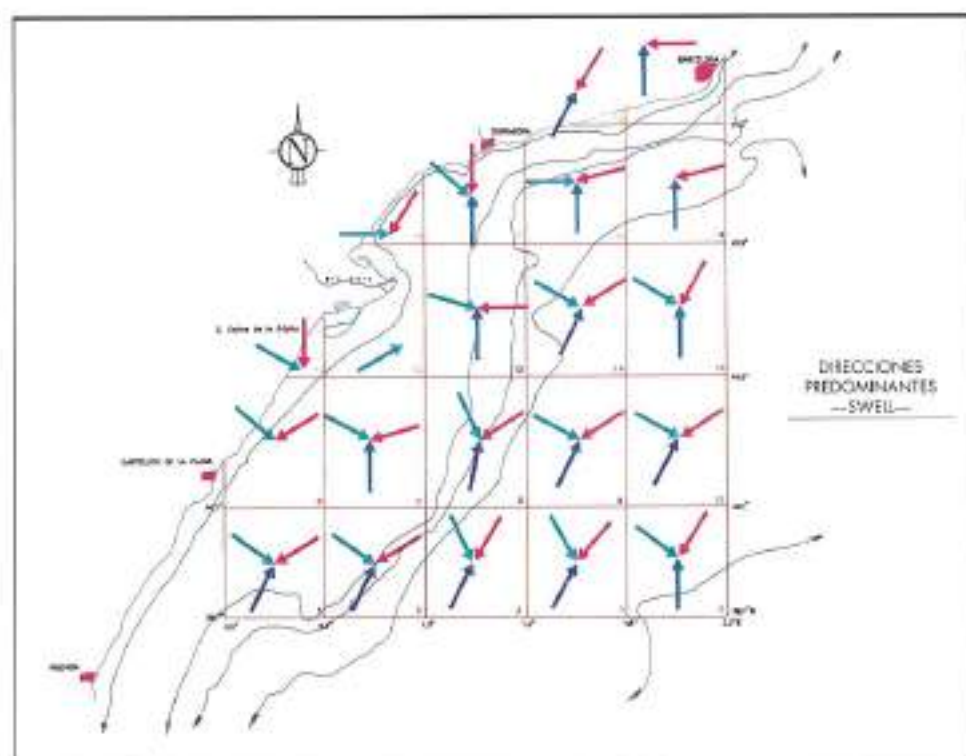


FIGURA 6. Direcciones principales de cada una de las submallas para el oleaje Swell.

Delta, y por tanto a la depresión del Ebro, poseen oleajes prácticamente perpendiculares a la costa, que en la zona norte rolan a oeste al alejarse de la costa, manteniendo casi constante su dirección, Oeste-Norte, para el resto de la malla. Como es lógico, esta dirección predominante de oleaje da alturas de ola mayores cuanto más alejado se encuentren de tierra, al ser su fetch mayor. Así pueden alcanzar en la submalla 5 alturas de ola de hasta 4,5 metros. Como puede suponerse esta dirección de oleaje no tiene ninguna influencia en la dinámica litoral marina del Delta, influyendo únicamente sus vientos generadores en la actividad eólica del Delta del Ebro.

6. ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE DATOS VISUALES E INSTRUMENTALES

El último de los pasos seguidos fue la comparación entre los datos proporcionados por el N.W.R.C., que se distribuyen a lo largo de un área, y el resto de las fuentes, que se registran en un punto fijo determinado. Para esta comparación se fueron eligiendo las submallas que contenían a los puntos de registro. A continuación se presentan los resultados más significativos obtenidos.

a) Comparación entre las submallas 13 y 14 de datos visuales del N.W.R.C. y los datos visuales de la plataforma petrolífera "Casablanca".

Para efectuar el análisis comparativo entre los datos suministrados por la plataforma petrolífera "Casablanca" y los datos visuales del N.W.R.C. se han elegido las submallas donde se encuentra situada dicha plataforma, siendo éstas las submallas números 13 y 14, figuras 7a y 7b.

Analizando primeramente el oleaje tipo Sea, se desprende que ambos registros indican tres direcciones

predominantes de oleaje. Los oleajes provenientes de la primera de las direcciones principales obtenidos de los datos del N.W.R.C. daban una dirección principal situada entre el NE en la submalla 14, que luego viraba a E en la submalla 13, figura 5. En cambio, los datos suministrados por la plataforma petrolífera "Casablanca" muestran que esta dirección principal vira hasta situarse en el ES. Los límites de esta dirección se encuentran próximos, estando situados para los datos del N.W.R.C. en el N y SE, y para los datos de la plataforma "Casablanca" en el NE y SE. El orden de magnitud de las frecuencias de presentación en ambas fuentes de datos es similar, estando comprendidas para su dirección principal en torno al 10%.

Las alturas de ola significativas máximas para esta dirección dan valores significativamente menores en los datos procedentes del N.W.R.C., con valores máximos oscilando entre 1,5 y 2 metros, mientras que los suministrados por la plataforma "Casablanca" se encuentran comprendidos entre 3 y 5 metros, como se puede apreciar los valores de $(H_s)_{max}$ son el doble con respecto a los datos de Asheville, alejándose de cualquier similitud. Por tanto, se puede indicar que los valores que proporciona el banco de datos del N.W.R.C. son más lógicos para las alturas de ola significativas máximas, mientras que los datos de la plataforma "Casablanca" parecen más lógicos para alturas de ola máximas y no significativas.

La segunda de las direcciones principales, estudiadas anteriormente para las dos fuentes, proviene del SO según los datos de oleaje de "Casablanca", coincidiendo con esta dirección los datos de la submalla 13 y virando al Sur en la submalla 14. Los límites de direcciones son similares para "Casablanca" y para la submalla 13, SE

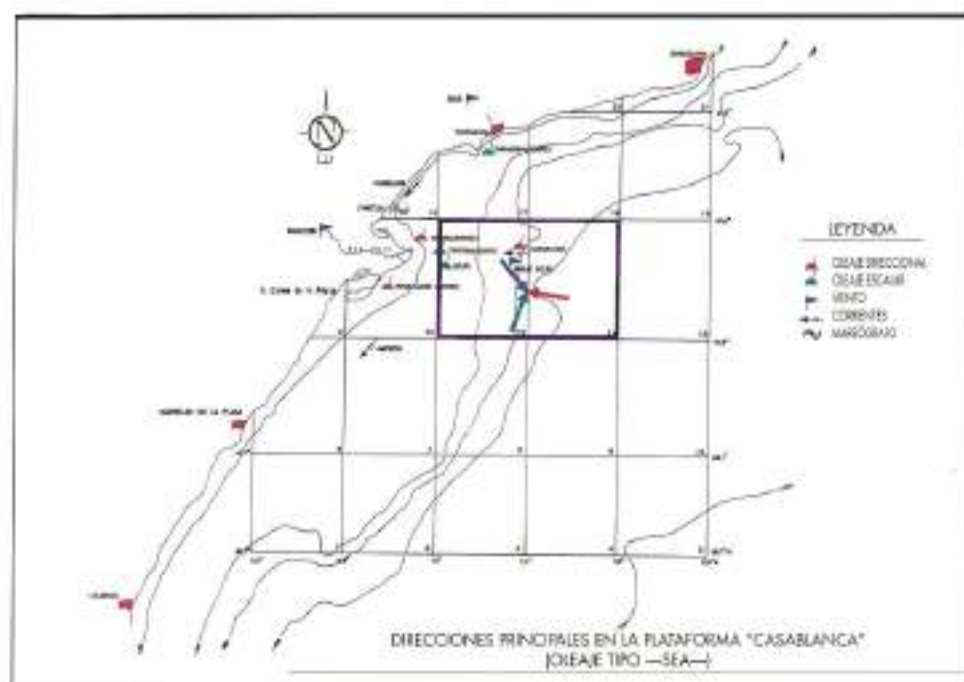


FIGURA 7a. Direcciones principales en la plataforma CASABLANCA para el oleaje Sea.

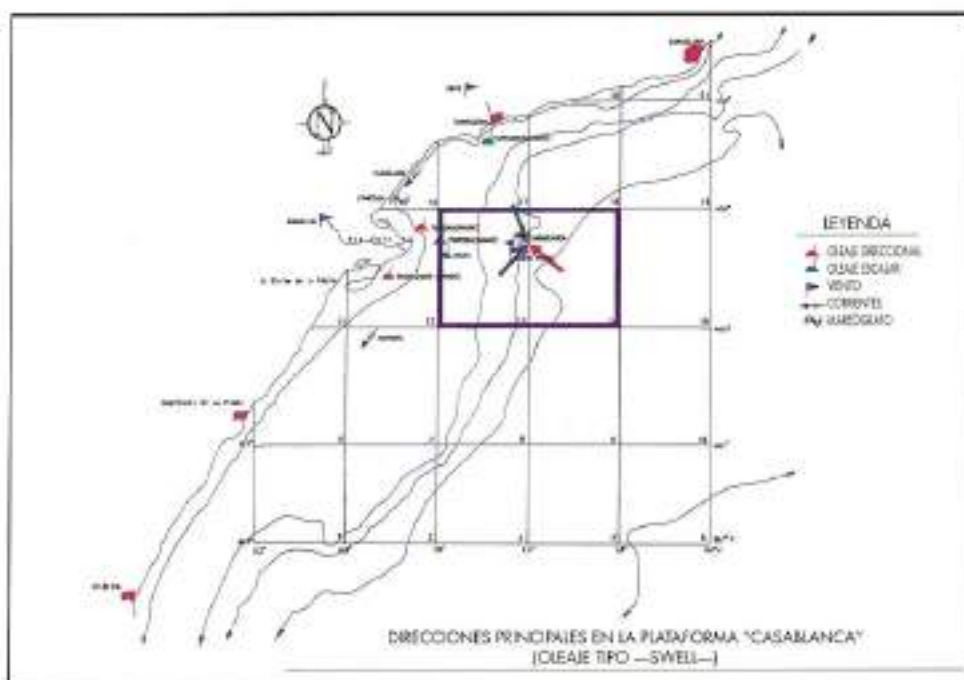


FIGURA 7b. Direcciones principales en la plataforma CASABLANCA para el oleaje Swell.

y OS, no estando bien definidos los límites en la submalla 14, especialmente en el caso del OS. El orden de magnitud de las frecuencias de presentación es bastante similar estando comprendida la dirección principal en torno al 10%.

Las alturas de ola significativas máximas registradas en las submallas 13 y 14 son bastante menores que las suministradas por la plataforma "Casablanca". Los datos del N.W.R.C. tienen valores en torno a 1,5 y 2,5 metros, mientras que los de la "Casablanca" se sitúan en torno

a los 4 metros. De forma análoga a lo que sucedía con la dirección principal anterior, unos valores son el doble de los otros, pareciendo, igualmente, más lógicos los valores más bajos.

La tercera de las direcciones consideradas, la proveniente de tierra, tiene para las dos submallas y para la plataforma "Casablanca" la misma dirección principal, situada en el ON. Los límites de la dirección, OS, son similares, salvo para la submalla 14, que, como se ha dicho, no se encuentra claramente definida, pero el otro

límite se encuentra desplazado para "Casablanca" al NE, respecto del N de las submallas 13 y 14. Las frecuencias de presentación siguen la misma tónica marcada en las anteriores direcciones, alcanzando valores algo superiores al 15% en la dirección principal, que se aproxima al 20% en la submalla 13.

La altura de ola (H_s)_{vis} registradas en las submallas 13 y 14 son menores a las obtenidas en la plataforma "Casablanca", así para las primeras la altura de ola (H_s)_{vis} se encuentra comprendida entre 2,5 y 4 metros, mientras que la segunda se sitúa entre 4 y 5,5 metros. Aunque estas diferencias son menores que las apreciadas para las anteriores direcciones, son de suficiente importancia como para considerar que se alejan bastante de una cierta similitud.

En general, de la comparación de ambos registros de datos se aprecia que mantienen una cierta similitud respecto a las direcciones y estructura direccional de oleaje, así como para su frecuencia de presentación. No sucede lo mismo con las alturas de ola, ya que las suministradas por la plataforma "Casablanca" se encuentran mayoradas con respecto a las de los datos visuales del N.W.R.C. en un grado elevado que puede alcanzar el doble del valor de estas últimas.

Por otra parte, sorprende la frecuencia de presentación y la altura de ola generada en la dirección proveniente de tierra, que si bien no afecta a la dinámica litoral del Delta del Ebro, debiera analizarse su veracidad, especialmente en lo referente al valor que adquieren sus alturas de ola.

b) Comparación entre los datos visuales del N.W.R.C. y los datos instrumentales escalares de las boyas de la R.E.M.R.O. y la boya de la empresa SHELL.

Se compararon cada una de las fuentes de registro instrumentales escalares, recogidas para este estudio (boyas de la R.E.M.R.O. y la boya DELTA de la empresa Shell), por separado, con los datos visuales del N.W.R.C., que para estos análisis se trataron escaladamente, aunque su forma de presentación sea la de datos direccionales, según se ha podido ver en la descripción de esta fuente de datos.

1) Comparación entre las submallas 12, 13 y 14 de datos visuales del N.W.R.C. y los datos instrumentales escalares de la boya de Cabo Tortosa (R.E.M.R.O.):

En este caso para poder realizar el análisis comparativo entre los datos suministrados por la boya de Cabo Tortosa y los datos visuales del N.W.R.C. se han elegido las submallas núm. 12, 13 y 14 en cuya zona se encuentra situada dicha boya, figura 3. Para este análisis comparativo hay que destacar que estuvo instalada desde 05/1991 al 10/1992 obteniéndose 6.641 registros en ese periodo. Con respecto a las submallas elegidas de datos visuales, el número de éstos es de 615 registros válidos. Ambas fuentes no permiten caracterizar el oleaje de forma fehaciente debido a que en el primer caso el periodo de medición es insuficiente para obtener el número de datos adecuado para que sean estadísticamente fiables y en el segundo el número de datos registrados, por no coincidir con rutas marítimas muy transitadas en esta zona, es insuficiente para que sean

estadísticamente fiables los resultados que se obtengan. De todas formas, el análisis comparativo de ambas fuentes, que a continuación se desarrolla, sirvió para tener un conocimiento cualitativo más profundo del clima marítimo en el entorno del Delta del Ebro.

De la comparación de las distribuciones de alturas - frecuencias de presentación hay varios aspectos a destacar, el primero es la diferencia de porcentaje de presentación de las calmas siendo del orden de 3 veces mayor en los datos visuales (9,76%) que en los instrumentales (3,7%). Con respecto a las alturas de ola los datos instrumentales registran hasta 2,0-2,5 metros (0,8%) mientras que en los visuales llegan hasta los 3,5-4,0 metros (0,34%). Las frecuencias de presentación para los escalones de 0,0-0,5 y 0,5-1,0 metros son mayores en las observaciones de la boya con una diferencia del 10%, mientras que en los siguientes escalones cambia a favor de los visuales llegando hasta valores 3 veces superiores. Se observaron diferencias en las frecuencias de presentación en torno al 20% en escalones consecutivos de altura de ola, siendo en los registros de la boya en los pasos de 0,0-0,5 y 0,5-1,0 metros y de 0,5-1,0 y 1,0-1,5 metros y en los visuales solamente en el paso de 0,0-0,5 y 0,5-1,0 metros.

Con respecto a los periodos del oleaje, en ambos grupos de registros se encuentran los porcentajes de presentación más altos en el entorno de los 5 segundos. En el caso de los datos instrumentales hay una división menor de periodos obteniéndose en la franja de 4-5 y 5-6 segundos el 67% de los registros. Para los datos del N.W.R.C. en la franja de periodos inferiores a 5 segundos se concentra el 63,74% de las observaciones. También se observa una semejanza en ambos grupos en los porcentajes de presentación para los valores de periodo altos (6-7 y 8-9 segundos).

De este análisis se puede deducir que existe una similitud en la estructura del oleaje registrado por ambas fuentes, habiendo una concordancia en los valores del periodo del oleaje tanto en el análisis global como para cada uno de los escalones de altura de ola. Sin embargo, las alturas de ola de los registros visuales tienen mayores frecuencias de presentación, hasta 1,5 metros, respecto a los registros instrumentales. Esto último puede ser debido a que la serie de datos visuales es más extensa en el tiempo, por lo que ha habido la posibilidad de registrar temporales mayores aunque con la reserva hecha al principio del escaso número de registros obtenidos en las submallas, mientras que en los resultados de los datos instrumentales ha influido el escaso periodo de instalación de la boya (17 meses), por lo que no ha tenido el tiempo suficiente para poder registrar temporales grandes y en consecuencia se produce un sesgo de los registros en la franja de las alturas de ola mayores de 2,5 metros que si aparecen en los registros del N.W.R.C.

2) Comparación entre las submallas 12, 13 y 14 de datos visuales del N.W.R.C. y los datos instrumentales escalares de la boya DELTA (SHELL):

De forma análoga a lo expuesto en el análisis de los datos de la boya de Cabo Tortosa para este caso

también se eligieron las submallas números 12, 13 y 14 en cuya zona se encuentra fondeada dicha boya, figura 3.

La boya DELTA, perteneciente a la empresa petrolífera Shell, estuvo instalada desde 07/1978 al 09/1982 obteniéndose 26.424 registros en ese período de tiempo. El número de datos registrados en las submallas es de 615 observaciones válidas. Como sucedía en el caso anterior, estas fuentes tampoco permiten caracterizar el oleaje de la zona de forma fehaciente debido al escaso período de tiempo de instalación de la boya DELTA y al escaso número de datos válidos recogidos por los barcos en ruta en las submallas seleccionadas. Sin embargo, la comparación de ambas será útil para caracterizar de forma cualitativa el clima marítimo en las proximidades del Delta del Ebro.

De la comparación de las distribuciones de alturas - frecuencias de presentación, hay que reseñar que en el registro de la boya DELTA no se han incluido las calmas, por lo que no se podrá comparar este dato con el de las submallas. Con respecto a las alturas de ola, los datos instrumentales registran hasta 5,5-6,0 metros (0,02%) mientras que los visuales llegan hasta 3,5-4,0 metros (0,34%). Se observa una discrepancia en los valores de los porcentajes de las frecuencias de presentación para los primeros escalones de altura de ola (0,0-0,5 y 0,5-1,0 metros) siendo para los datos instrumentales 24,93% y 43% respectivamente y para los visuales 43,53% y 19,64% respectivamente. En el siguiente, los valores son parecidos 13,01% para los datos visuales y 19,85% para los instrumentales. Para el resto siguen el mismo comportamiento, orden de magnitud parecido, siendo un poco mayores los valores de los datos visuales hasta donde éstos han tenido registros (escalón de altura de ola 3,5-4,0 metros).

Con respecto a los periodos del oleaje, en ambos grupos de registros se encuentran los porcentajes de presentación más altos para los periodos menores de 5 segundos. Sin embargo, no coinciden los valores de estos porcentajes, ya que en los datos visuales los registros menores de 5 segundos representan el 63,74% mientras que en los instrumentales representan el 92,9%. En los datos instrumentales el periodo más alto registrado es 8-9 segundos mientras que en los visuales llegan hasta los 14-15 segundos. Los porcentajes de estos grupos no tienen el mismo orden de magnitud, de forma lógica debido a la concentración de observaciones instrumentales para periodos menores de 5 segundos.

Al analizar comparativamente ambas fuentes no parece que exista similitud en la estructura del oleaje, aunque con respecto a los periodos, la mayoría de los registros se encuentran para valores menores de 5 segundos. Las alturas de ola de los registros instrumentales son mayores, hasta 2 metros de diferencia, respecto a los datos visuales.

3) Comparación entre las submallas 16, 17 y 18 de datos visuales del N.W.R.C. y los datos instrumentales escalares de la boya de Tarragona (R.E.M.R.O.):

Para realizar el análisis comparativo entre ambas fuentes se eligieron las submallas números 6, 17 y 18 en cuya zona está fondeada esta boya.

La serie de registros disponibles hasta ese momento, ya que el equipo sigue fondeado en la actualidad, de la boya de Tarragona fueron los pertenecientes al periodo de tiempo desde 11/1992 al 12/1994. El número de registros válidos fue de 14.024 registros. Con respecto a las submallas elegidas de datos visuales, el número de observaciones válidas es de 267. Al igual que ocurría con las otras fuentes analizadas, éstas sólo posibilitarán un mayor conocimiento cualitativo del oleaje en la zona de estudio.

Siguiendo los mismos pasos hechos en los análisis de las fuentes anteriores, primero se compararon las distribuciones de alturas - frecuencias de presentación. En el análisis llama la atención el elevado porcentaje de calmas registrado en los datos visuales (63,3%) frente al 9% registrado en los datos instrumentales. Esto repercute en los porcentajes de frecuencia de presentación para los escalones de alturas de ola 0,0-0,5 y 0,5-1,0 metros, siendo éstos 19,85% y 8,24% respectivamente frente a 66,8% y 28,8% respectivamente en los datos instrumentales. Se observa que en ambos casos sí se mantiene la diferencia relativa entre ambos porcentajes, uno es el doble que el otro aproximadamente. Por otra parte, los datos visuales tienen registros con alturas de ola mayores que los de la boya, 3,0-3,5 metros los primeros y 2,0-2,5 metros los segundos. Los porcentajes para estas alturas de ola son mayores en los registros visuales.

En cuanto a los periodos del oleaje se observa que predominan los registros con valores menores de 5 segundos, pero los porcentajes no tienen el mismo orden de magnitud, siendo para los datos instrumentales de 61,5% y para los visuales de 28,09%. Esto es provocado por el alto porcentaje de calmas registrado en los datos visuales. La comparación del resto de valores queda distorsionado por la misma causa.

Del análisis comparativo realizado se observa una cierta similitud de la estructura del oleaje, pero no se puede profundizar más, debido a la distorsión que produce en los resultados el elevado porcentaje de calmas que se registran en las observaciones visuales, lo cual reduce mucho el resto de los valores de la frecuencia de presentación del oleaje para las distintas alturas y periodos.

De las fuentes analizadas hay que destacar su escasa validez para un análisis cuantitativo debido, en el caso de los datos instrumentales, al corto período de registro de las series de observaciones, ya que no se acerca ninguna de ellas al mínimo deseable que podría estar en torno a los 16 años de registro. Por tanto, el número de datos es insuficiente para poder ser representativo del clima marítimo en un año medio. Con los datos visuales, el periodo de medición es lo suficientemente largo para poder considerar los datos representativos del oleaje del año medio, sin embargo, el volumen de datos registrados es muy escaso debido a que las zonas elegidas no engloban las rutas marítimas más transitadas.

7. CONCLUSIONES

- 1) A la vista de los resultados obtenidos se aprecia que existe una gran heterogeneidad y falta de uniformidad en la distribución de los datos visuales de oleaje, lo que puede provocar si no se tiene en cuenta este fenómeno errores al suponerse homogéneamente distribuidos los datos en la malla.
- 2) Debe estudiarse en cada caso la cantidad de datos existentes para la franja próxima a la costa, pues en ciertas ocasiones, se asigna oleaje a esta franja cuando en realidad la gran mayoría de los datos se encuentran muy alejados de la misma, como se ha podido apreciar para el caso del Delta del Ebro.
- 3) Debieran realizarse estudios en mayor profundidad para establecer una correlación aceptable entre los datos de oleaje visuales tomados sobre superficies y los datos visuales y registros de oleaje tomados en un punto determinado, ya que se aprecia en el trabajo expuesto una gran distorsión y falta de correlación entre las distintas fuentes.
- 4) Debiera establecerse un baremo sobre el número de datos y el periodo de funcionamiento desde el inicio de la toma de los mismos, ya que en ciertas ocasiones se toman como representativas muestras que no lo son.

8. REFERENCIAS

- 1) Centro de Estudios de Puertos y Costas - CEDEX. R.E.M.R.O. *Datos de oleaje. Resumen General*. Madrid; CEDEX (Informe técnico para Puertos del Estado), 1996.
- 2) Generalitat de Catalunya. *Red de Registro de Oleaje. Boga Cabo Tortosa (diferentes periodos)*. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Direcció General de Ports i Costes.
- 3) Peña Olivas, José Manuel y José Santos López Gutiérrez. *Aproximación a la dinámica litoral del Delta del Ebro*, Madrid; Centro de Estudios de Puertos y Costas - CEDEX (I Jornadas sobre el Delta del Ebro), 1995.
- 4) Peña Olivas, José Manuel y José Santos López Gutiérrez. *Estudio de la dinámica litoral del Delta del Ebro y pronóstico de su evolución - Dinámica litoral del Delta del Ebro*, Madrid; Centro de Estudios de Puertos y Costas - CEDEX (Informe técnico para la Dirección General de Costas), 1996.
- 5) Ministerio de Obras Públicas y Transportes. *Recomendaciones para Obras Marítimas. ROM 0.3-91. Oleaje. Anexo I. Clima Marítimo en el Litoral Español*. Dirección General de Puertos. Madrid, 1992.
- 6) Monsó de Prat, José Luis; Felipe Collado Lizama y Mario Galindo Queralt. *Análisis y propuesta de soluciones para estabilizar el Delta del Ebro - Clima de oleaje I*, Barcelona; Laboratorio de Ingeniería Marítima (UPC) (Informe técnico LT-2/3), 1988.
- 7) Gracia, Vicente; Felipe Collado; Marc García y José Luis Monsó. *Análisis y propuesta de soluciones para estabilizar el Delta del Ebro - Clima de oleaje II*, Barcelona; Laboratorio de Ingeniería Marítima (UPC) (Informe técnico LT-2/5), 1989.


FERROATLANTICA, S.L.
MICROSILICE

Fábrica de Sabón
Polígono Industrial de Sabón
 15142 Arteixo - La Coruña
 Tlf. (981) 60 06 75
 Fax (981) 60 13 06

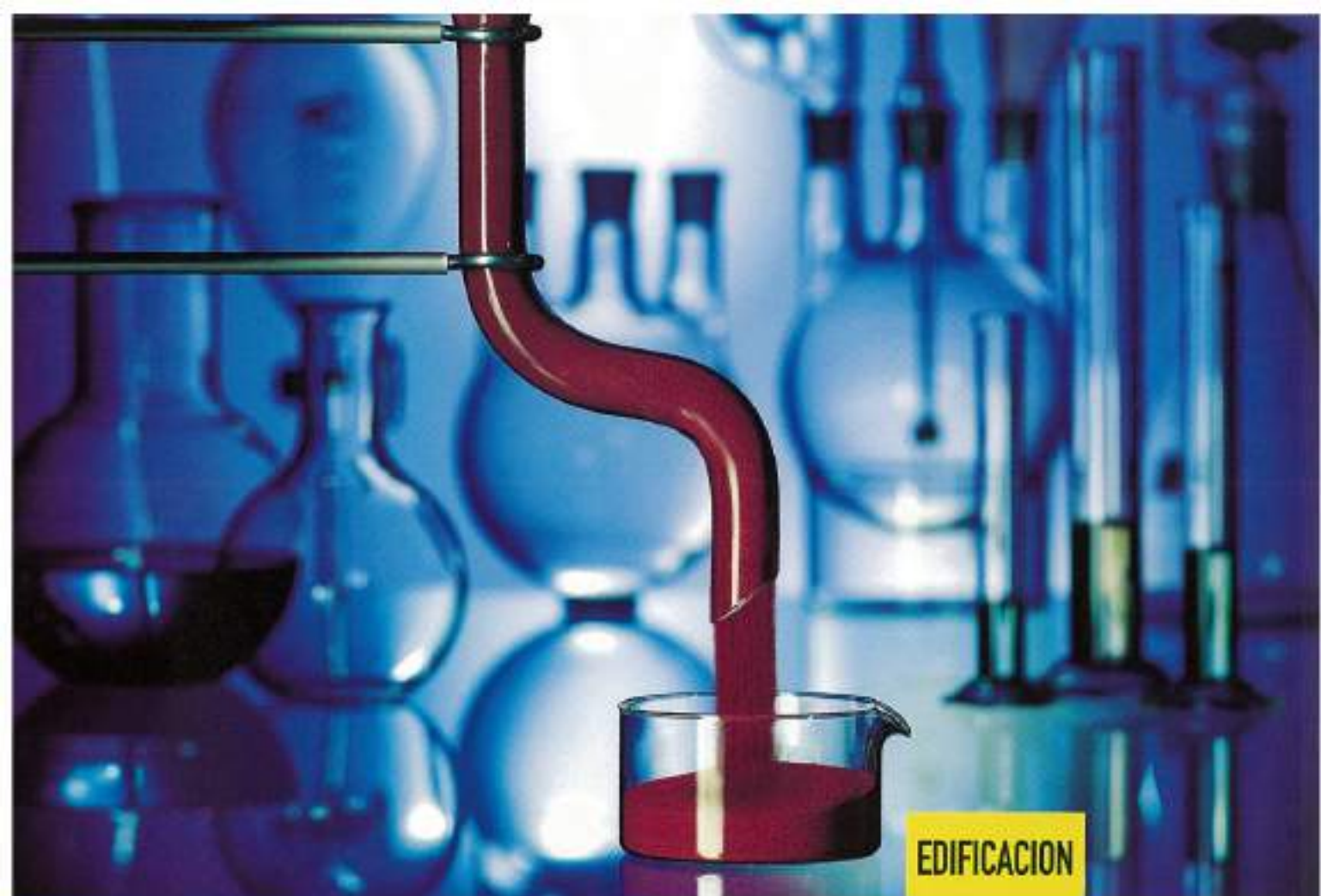
AENOR

EREmpresa
Registrada

ER-238/2/94

DURABILIDAD**✓COMPACIDAD****✓IMPERMEABILIDAD****✓RESISTENCIAS**

**HORMIGONES DE ALTAS
PRESTACIONES**



EDIFICACION

CONSTRUCTIVA

BAYFERROX® C: EL PIGMENTO COMPACTO CON FILTRO DE POLVO DE SERIE.

La transformación de pigmentos en polvo ha sido siempre un asunto que levantaba mucha polvareda. Pero ahora, usted ya puede respirar tranquilo; los nuevos pigmentos compactos Bayferrox C despliegan una gran intensidad de color y apenas teñirán su fábrica, ya que generan tan poco polvillo como un granulado, siendo, por tanto, mucho más higiénicos que los pigmentos en polvo convencionales.

Gracias a los brillantes pigmentos compactos Bayferrox C, usted podrá mezclar a su gusto: a partir de los siete tonos básicos de nuestra gama de colores podrá introducir cualquier matiz que desee mediante un simple mezclado aditivo.

Mezcle sin esfuerzo; gracias a la excelente fluidez de los pigmentos compactos Bayferrox C, ahora es todavía más fácil dosificarlos sin que dejen apenas residuos en los bidones o en las plantas de producción. Con Bayferrox C se acabaron los horizontes polvorientos.

Bayer 

Bayferrox C: tan económico como
el material en polvo, con valor añadido!

Bayer Hispania, S.A., División AJ, Papi Claris, 196, 08037 Barcelona
Tel.: 93 228 40 00. Fax: 93 228 44 04. Internet: <http://www.Bayer.es>

PREMIOS **URALITA** OBRA-CIVIL '98

CONDUCCIONES
Y TRATAMIENTOS DE AGUAS



COLABORAN

Las Escuelas Técnicas Superiores
de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos chorracantes.

El Colegio de Ingenieros de
Caminos, Canales y Puertos

PATROCINA

URALITA
OBRA CIVIL S.A.

