

# Estudio de transferencia de información entre la red exterior de oleaje y la red costera. Matrices de transferencia en la posición de la boya de Langosteira

NAVARRO SÁEZ, ALICIA (\*), MARTÍN SOLDEVILLA, M<sup>a</sup> JESÚS (\*) y ALFONSO, MARTA (\*\*)

**RESUMEN** La Red Exterior de Boyas Océano-meteorológicas de Puertos del Estado, está formada por 12 boyas Seawatch y 3 Boyas WaveScan fondeadas en posiciones estratégicas del borde de la plataforma continental. Esta red, debido a su profundidad de fondeo, superior a 200 m, y alejamiento de la línea de costa proporciona información representativa de una amplia zona. A partir de esta información pueden establecerse las características del oleaje en un emplazamiento cercano a costa, mediante un modelo numérico de propagación que establezca la transformación del oleaje por efecto de la batimetría. En este trabajo se han calculado las matrices de transferencia de la altura de ola y dirección de incidencia de los oleajes registrados en aguas profundas, en la posición de la boya de Langosteira, fondeada a 47 m de profundidad en la Bajamar Viva Equinocial (BMVE). El modelo de propagación empleado MDSL es un modelo de carácter elíptico, desarrollado en el CEDEX. Aplicando ambas matrices a los espectros direccionales de la Boya de Villano-Sisargas, fondeada a 386 m de profundidad, se obtiene las características del oleaje en la posición de la boya de costa seleccionada.

## STUDY OF THE TRANSFER OF INFORMATION BETWEEN THE DEEP WATER NETWORK AND THE COASTAL NETWORK. TRANSFER MATRIXES AT THE LANGOSTEIRA BUOY POSITION

**ABSTRACT** *Puertos del Estado deep water network of oceanographic and meteorological buoys, consisting of 12 Seawatch buoys and 3 Wavescan buoys, is deployed in strategic positions along de continental platform border. That network due to the anchored depth, higher than 200m, and long distance from the coastline gives representative information of a wide area. From that information it's possible to set up the characteristics of waves in any place near the coast by means of numerical wave propagations models that provide the transformations of the waves by the effect of the bathymetry. In that study it has been calculated the transfer matrixes of wave height and incidence directions of the deep water waves at the Langosteira buoy position, anchored at 47m depth in BMVE. The MDSL wave propagation model used in the study is an elliptic model developed by the CEDEX. Applying both matrixes, of heights and wave incidence directions, to the directional spectrums of Villano-Sisargas buoy, anchored at 386m depth, we can obtain the wave characteristics at the position of the selected coast buoy.*

**Palabras clave:** Redes de medida de Oleaje, Transferencia de información.

**Keywords:** Wave Network, Transfer of information.

## 1. INTRODUCCIÓN

Como aplicación de la información proporcionada por las Redes de medida exterior y costera pertenecientes al Organismo Público Puertos del Estado se realizan una serie de actuaciones entre las que se encuentra el estudio de transferencia en tiempo real de la información registrada en alta mar al punto correspondiente emplazado a menor profundidad. Obviamente, la transferencia a cualquier otro emplaza-

miento incluido en el dominio de propagación puede ser acometida con los resultados obtenidos en el conjunto de propagaciones realizadas.

Puertos del Estado puso en marcha en 1998 el sistema de propagación espectral punto a punto (Álvarez et al. 1977) acoplado al modelo WAM (WAMDI 1988) con el que realiza la predicción del oleaje. Dados los buenos resultados obtenidos, decidió acoplar este sistema a la información proporcionada por las boyas de la Red Exterior (Alfonso et al. 1999).

Dentro del contexto de ésta actividad, se acordó que se incluyera en el convenio de colaboración vigente entre PE y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), la realización de los estudios necesarios para eva-

(\*) Departamento de Estudios Portuarios CEDEX.

(\*\*) Área de conocimiento de medio físico. Puertos del Estado.

**FIGURA 1.** Situación de las boyas cercanas a costa (●) y de las boyas exteriores (★).



luar la idoneidad del emplazamiento de los equipos de medida de oleaje y la fiabilidad de los modelos numéricos para la transferencia instantánea de información desde aguas profundas a posiciones cercanas a costa.

Los trabajos realizados en el Centro de Estudios de Puertos y Costa (CEPYC) del CEDEX, se recogieron en la actuación denominada "Estudio y transferencia de información de oleaje y redundancias informativas entre la Red Exterior (RE) y la Red Costera (RC)".

El sistema de propagación espectral punto a punto consiste en aplicar las transformaciones inducidas por la batimetría en el espectro direccional del oleaje al propagarse desde un punto determinado a otro, empleando unas matrices previamente generadas utilizando como herramienta un modelo de propagación.

Las boyas de la Red Exterior transmiten, en tiempo real y vía satélite, información espectral que se limita a las densidades espectrales escalares y a la dirección media y dispersión angular media para cada banda de frecuencia, dada la inviabilidad económica de transmitir el espectro direccional completo. A partir de esta información se reconstruye el espectro ajustando en cada banda de frecuencia una distribución direccional teórica de Mitsuyasu (Mitsuyasu et al., 1975), que se modifica según las matrices ya generadas dando lugar a la información propagada, estimándose los parámetros de altura significativa, período medio y de pico y dirección media y de pico.

En el sistema de propagación de PdE existen diversos puntos a los que se transmite la información en tiempo real de las boyas de la Red Exterior, empleándose para ello las matrices elaboradas por tres instituciones distintas que han

utilizado tres modelos de propagación de tipo parabólico diferentes: PROPS (Puertos del Estado) para las boyas de Bilbao, Gijón, Avilés y Coruña; REFDIF (CEDEX) para la boya de Langosteira (objeto de este estudio) y OLUCA (GIOCUC) para la boya de Silleiro. Cada una de las matrices transforma el oleaje desde aguas abiertas (registrado por la Red Exterior) hasta la posición de la boya costera correspondiente. La situación de estas boyas y de las boyas exteriores se puede observar en la figura 1 y la posición exacta en la tabla 1.

Una vez puesto en marcha el sistema de propagación, se realizó una validación de la información propagada con los datos proporcionados por las boyas de la Red Costera. Debido a la especial complejidad de los fondos en la boya de Langosteira, y a la limitación de los modelos parabólicos resolvidores de fase en cuanto a la desviación de la dirección de avance del frente con relación al eje de integración, los resultados obtenidos en la posición de la boya de Langosteira con el modelo parabólico, mostraron una excesiva atenuación en el sector NE y una sobreestimación en los oleajes del SW. Este resultado está confirmado por los resultados estadísticos. En relación con las direcciones del oleaje se observó un giro excesivo al NW de los datos de todos los cuadrantes. El diagrama de dispersión reflejaba una excesiva concentración de los datos propagados en el cuadrante NW, que no se apreciaba en los datos de la boya de costa.

Estos resultados pusieron de manifiesto la necesidad de utilizar una herramienta numérica más potente para la elaboración de las matrices de transferencia en esta zona. La herramienta utilizada fue la versión elíptica del modelo MDSL desarrollado en el CEDEX.

Nombre	Latitud	Longitud	Prof.	Boya exterior empleada
Bilbao	43° 24.0' N	3° 08.6' W	50 m	Bilbao exterior
Gijón	43° 34.0' N	5° 39.0' W	43 m	Cabo de Peñas
Avilés	43° 35.9' N	5° 57.3' W	19 m	Cabo de Peñas
Coruña	43° 24.8' N	8° 23.0' W	50 m	Villano-Sisargas
Langosteira	43° 21.3' N	8° 32.0' W	40 m	Villano-Sisargas
Silleiro	42° 05.8' N	8° 55.8' W	75 m	Silleiro exterior

**TABLA 1.** Situación y profundidad de las boyas cercanas a costa.

## 2. PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA ELABORACIÓN DE LAS MATRICES DE TRANSFERENCIA

Para elaborar las nuevas matrices de transferencia utilizando el modelo elíptico de propagación de oleaje cuyas características se describen en el siguiente apartado, se ha seguido la siguiente metodología acordada por los dos organismos que participan en el trabajo.

Las matrices se componen de 72 filas, resultado de barrer todas las direcciones con un incremento de  $5^\circ$  y 16 columnas correspondientes a los períodos elegidos para ensayar: de 2 a 10 s, con un incremento de 1 s, y de 12 a 24 s, con un incremento de 2 s. Para calcular los elementos de las matrices se han seguido los siguientes pasos:

- Definir el sector activo de la boya de Langosteira, formado por las direcciones en alta mar de las que proceden los oleajes que inciden en el punto de interés. En este caso el sector activo considerado está limitado por las direcciones de  $250^\circ$  y  $35^\circ$ , considerando el N como origen de ángulos, y el sentido horario como positivo.
- Todos los elementos de la matriz que no pertenezcan al sector activo se completan con ceros en la matriz de alturas y con un valor ficticio (999) en la matriz de direcciones.
- Las ondas con períodos inferiores a 6s no modifican ni su altura ni su dirección de propagación ya que ésta transcurre por profundidades indefinidas. Esto implica un coeficiente de transformación igual a la unidad para las alturas y el valor de la dirección de partida en la matriz de direcciones.
- Para los restantes casos, que corresponden a los oleajes que proceden del sector activo ( $250^\circ$ –  $35^\circ$ ) y cuyos períodos (7 s – 24 s) son suficientemente elevados para que su altura y dirección inicial se modifiquen en su propagación a costa, el cálculo del coeficiente de transformación de altura y de la dirección de incidencia se obtiene mediante ensayos de propagación de ondas monocromáticas con el modelo numérico seleccionado.

En los siguientes apartados se enumeran las características del modelo numérico utilizado en los ensayos de propagación; se describe los pasos dados en la elaboración de las mallas de cálculo en las que se discretiza la batimetría del área de estudio y los ensayos realizados. En el último apartado se verifican las propagaciones realizadas con las matrices de transferencia contrastando sus resultados con los datos de la boya de Langosteira.

## 3. MODELO NUMÉRICO MDSL

El modelo MDSL es una aplicación desarrollada en el CEDEX para la realización de estudios de propagación de oleaje, agitación y ondas largas en puertos en base a la ecuación de Berkhoff o de la pendiente suave. Esta ecuación gobierna la dispersión de ondas lineales en un dominio, dadas las condiciones de contorno, e incluye los efectos de refracción, difracción y reflexión por variación de fondos y presencia de obstáculos.

El principal problema práctico en la aplicación de la ecuación de Berkhoff es su naturaleza de ecuación diferencial elíptica que obliga a su resolución como un problema de contorno. El dominio de cálculo se discretiza estableciéndose un sistema de ecuaciones que queda cerrado mediante las condiciones de contorno. Como es preciso emplear un número elevado de puntos por longitud de onda para su resolu-

ción, se obtiene un sistema de ecuaciones de dimensiones muy grande incluso para dominios de tamaño pequeño en términos de longitud de onda.

Para reducir los requisitos de cálculo, se emplean tradicionalmente métodos iterativos de diferentes tipos aplicables a las ecuaciones elípticas. El inconveniente de las soluciones iterativas es que obligan a establecer criterios de convergencia que determinen cuando finalice el cálculo con la precisión deseada.

En contraste con estos métodos, el modelo MDSL resuelve de forma no iterativa la ecuación de Berkhoff sobre una malla de diferencias finitas rectangular empleando un esquema de cinco puntos para discretizar las derivadas.

Para casos de dimensión reducida, otros autores resolvieron el problema directamente empleando el método de Gauss, teniendo en cuenta que la matriz de coeficientes resultante es una matriz en banda que permite economizar tiempo de cálculo y almacenamiento.

Esta aproximación de resolución directa es la empleada en el modelo MDSL, añadiendo una serie de optimizaciones que han permitido reducir la necesidad de almacenamiento y mejorar en un orden de magnitud la velocidad de cálculo respecto a estos autores. Por tanto se ha conseguido aplicar la solución directa a problemas de propagación en áreas extensas y de agitación en el interior de grandes puertos que requieren modelar áreas de muchas longitudes de onda.

## 4. MALLAS DE CÁLCULO DE BATIMETRÍA

Las mallas de cálculo empleadas en los ensayos numéricos se han elaborado a partir de dos fuentes: datos digitalizados de las Cartas Náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) y los datos de una campaña de batimetría realizada por distintas instituciones en la zona de estudio. Los criterios empleados para preparar las mallas de cálculo son los siguientes:

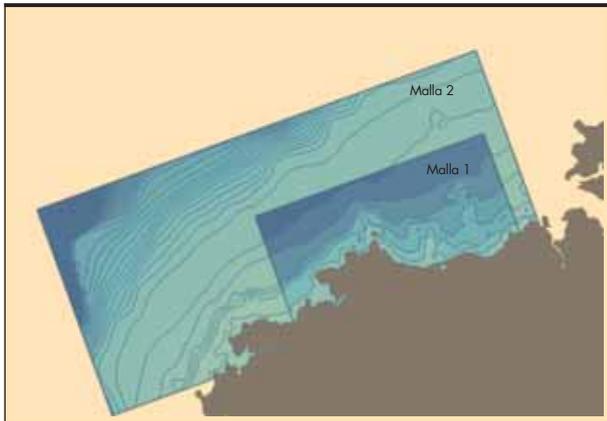
- El área modelada ha de ser suficientemente amplia para que cada ensayo se realice desde profundidades indefinidas hasta la posición de la boya de Langosteira, que está situada en aguas intermedias (47m).
- La longitud de onda del oleaje monocromático ensayado en cada caso tiene que estar definido por un mínimo de cinco incrementos de malla en la zona de menor profundidad comprendida entre el borde de entrada y la posición de fondeo de la boya.

Siguiendo estos criterios se han seleccionado seis orientaciones (eje de ordenadas) para las mallas de cálculo: W20S, W5S, WNW, NW, N y N25E. Para cada orientación se han preparado cinco mallas, cuya extensión y digitalización espacial ( $\Delta x$ ) se adecua al rango de períodos a ensayar de acuerdo con el segundo criterio de preparación de las mallas.

De las figuras 2 hasta la 8 se representan las mallas de cálculo, agrupadas por orientaciones, indicando en la Tabla que acompaña a cada grupo las características principales de cada una: discretización espacial ( $\Delta x$ ), profundidad (hborde) en el contorno de entrada, y oleajes propagados.

## 5. ENSAYOS NUMÉRICOS CON EL MODELO MDSL

Según la metodología de trabajo establecida en el apartado inicial se han realizado ensayos con ondas regulares de períodos comprendidos entre 7 y 10 s, de segundo en segundo, y de 12 a 24 s, con un intervalo de 2 s. Las direcciones de propagación se han limitado a las comprendidas entre  $250^\circ$  y  $35^\circ$  cada  $5^\circ$ , considerando el N como origen de ángulos.



Ensayos MDSL	Malla1	Malla2
T(s)	7 – 10	12, 14, 16
Dir.:	250° – 265°	250° – 265°
$\Delta x$ (m)	15	27
Prof. BORDE (m) >	–	109 m

FIGURA 2. Mallas orientadas al W20S.

Como resultado de cada ensayo se obtiene la altura de ola y la dirección de propagación en cada uno de los nodos en que se ha discretizado el área de estudio. Dada la variabi-

lidad de la posición de la boya debido al desplazamiento sobre la superficie del agua que origina la longitud de la línea de anclaje así como un posible pequeño error en el posicionamiento en el fondeo de la boya, los coeficientes de transformación de la altura de ola y la dirección de arribada se han promediado en una zona rectangular centrada en la posición de la boya. Estos resultados constituyen las matrices de transferencia y se presentan en el siguiente apartado.

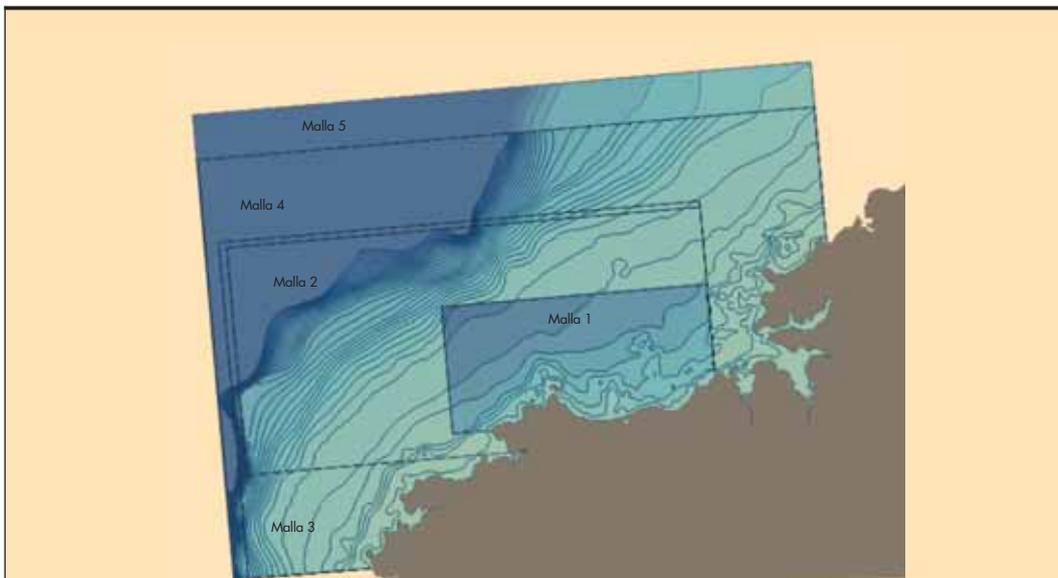
La representación gráfica de los resultados de los ensayos de propagación, se realiza mediante una escala cromática, que visualiza el grado de concentración o atenuación del oleaje en la zona modelada en cada ensayo.

## 6. VERIFICACIÓN DE LAS PROPAGACIONES

La Subdirección de Investigación e Innovación de Puertos del Estado ha verificado las propagaciones desde aguas abiertas a la posición de fondeo de la boya de Langosteira. Las propagaciones se realizan utilizando como datos en aguas abiertas la información espectral del oleaje registrados por la boya de Villano Sisargas de la Red Exterior y para la propagación las dos matrices de transferencia recogidas en el apartado anterior. La verificación se basa en los siguientes aspectos:

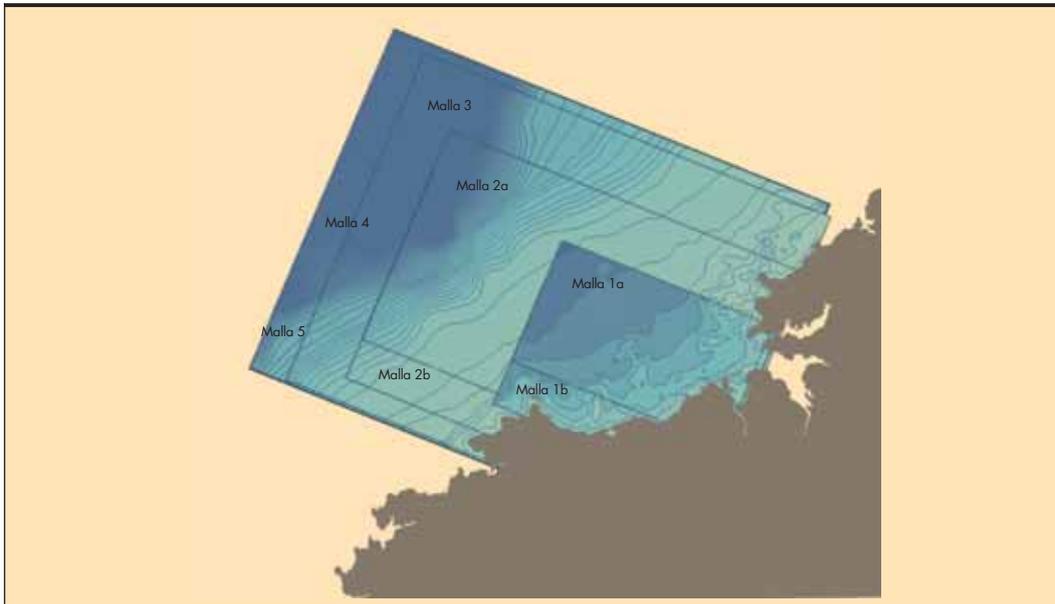
### 6.1. DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN DE LA ALTURA SIGNIFICANTE $H_m0$

Los diagramas de dispersión de la altura significativa de la boya exterior –boya costera y de los resultados de propagación– boya costera, se muestran en la Figura 9. En estas gráficas se utiliza una escala de colores para mostrar la dirección de procedencia del oleaje en la boya exterior.



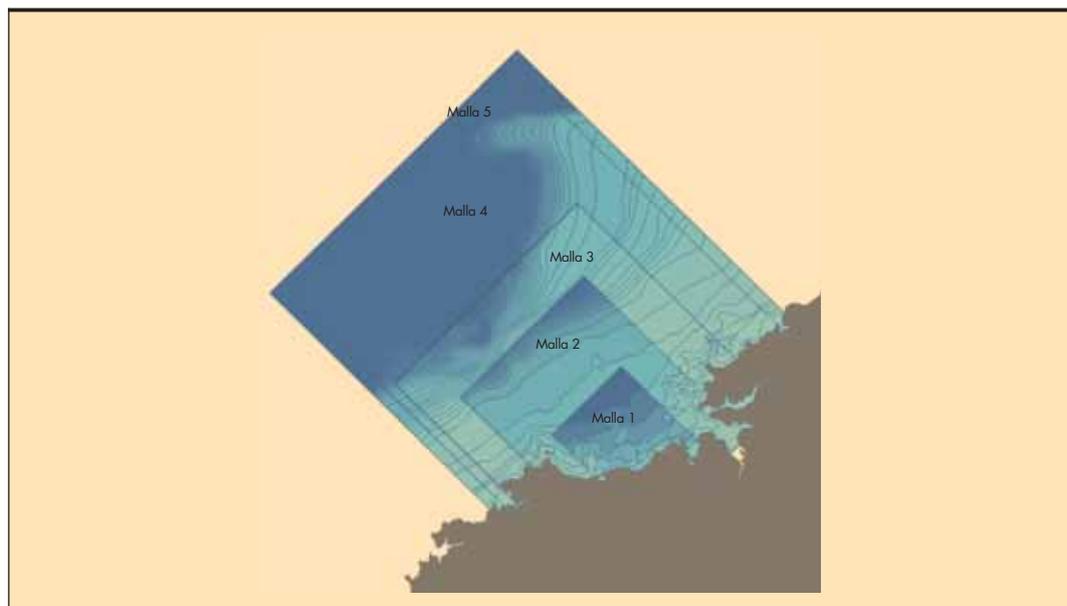
Ensayos MDSL	Malla1	Malla 2	Malla 3	Malla 4	Malla 5
T(s)	7 – 10	12, 14, 16	18, 20	22	24
Dir.:	265° – 315°	265° – 315°	250° – 315°	250° – 315°	250° – 315°
$\Delta x$ (m)	15	27	40	50	57
Prof. BORDE (m) >	109	460	338	514	562

FIGURA 3. Mallas orientadas al W5S.



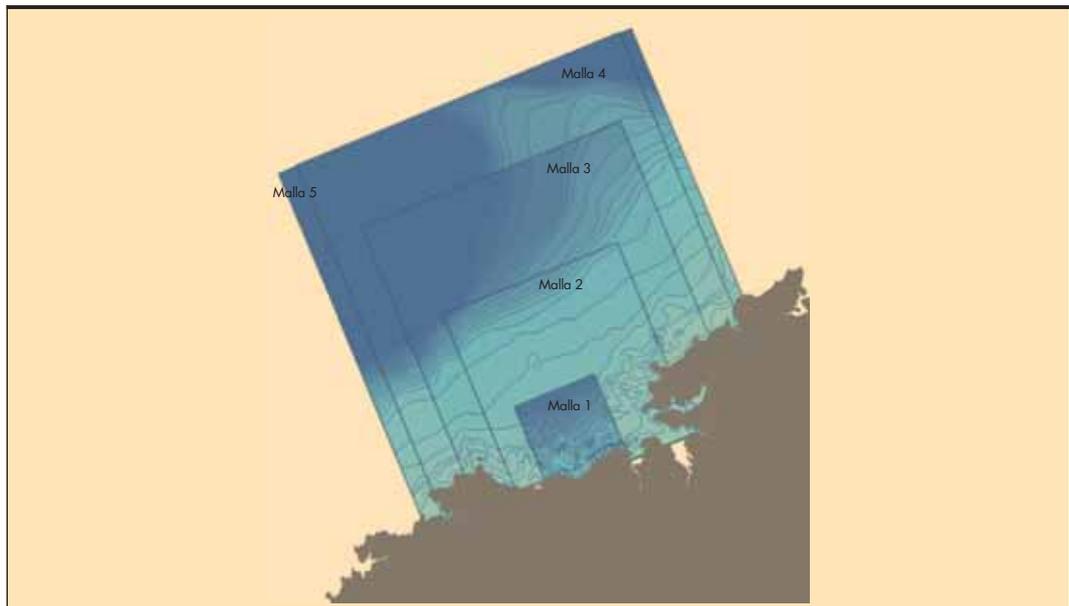
Ensayos	Malla 1a	Malla 1b	Malla 2a	Malla 2b	Malla 3	Malla 4	Malla 5
T(s)	7 – 10	7 – 10	12, 14, 16	12,14,16	18, 20	22	24
Dir.:	280° – 300°	305° – 315°	280° – 305°	310° – 315°	280° – 315°	280° – 315°	280° – 315°
$\Delta x$ (m)	15	15	27	27	40	50	57
Prof. B (m) >	71	125	217	303	372	552	544

FIGURA 4. Mallas orientadas al WNW.



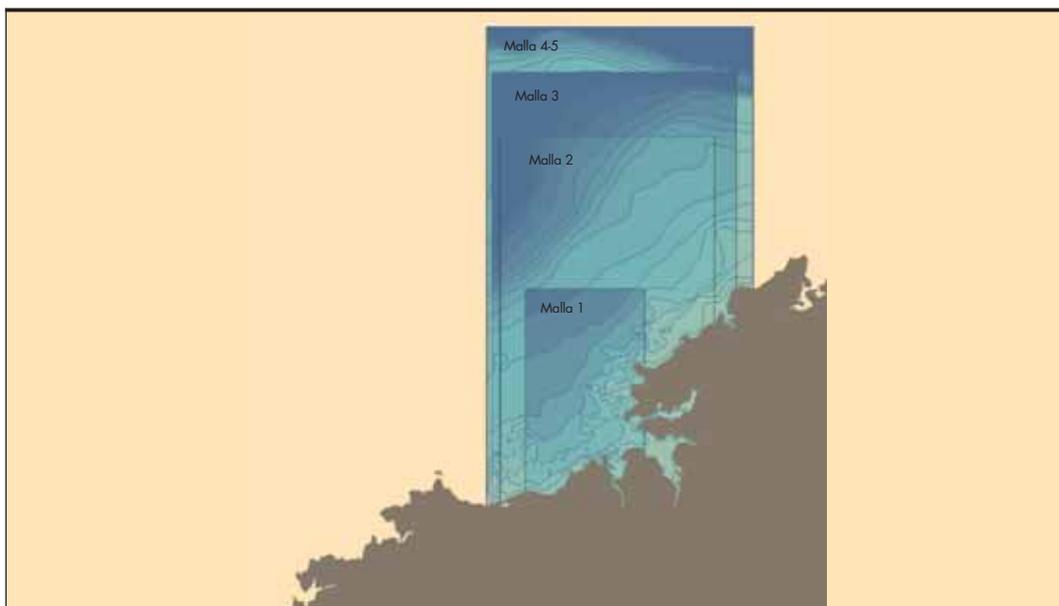
Ensayos	Malla 1	Malla 2a	Malla 3	Malla 4	Malla 5
T(s)	7 – 10	12, 14, 16	18,20	22	24
Dir.:	305° – 325°	305° – 325°	305° – 325°	305° – 325°	305° – 325°
$\Delta x$ (m)	15	27	40	50	57
Prof. B (m) >	100	247	450	1000	1000

FIGURA 5. Mallas orientadas al NW.



Ensayos MDSL	Malla 1	Malla 2a	Malla 3	Malla 4	Malla 5
T(s)	7 – 10	12, 14, 16	18, 20	22	24
Dir.:	320° – 360°	320° – 360°	320° – 360°	320° – 360°	320° – 360°
$\Delta x$ (m)	15	27	40	50	57
Prof. BORDE (m) >	134	210	346	556	538

FIGURA 6. Mallas orientadas al NNW.



Ensayos MDSL	Malla 1	Malla 2	Malla 3	Malla 4	Malla 5
T(s)	7 – 10	12, 14, 16	18, 20	22	24
Dir.:	0° – 5°	0° – 5°	0° – 5°	0° – 5°	0° – 5°
$\Delta x$ (m)	15	27	40	50	57
Prof. BORDE (m) >	133	197	371	730	730

FIGURA 7. Mallas orientadas al N.

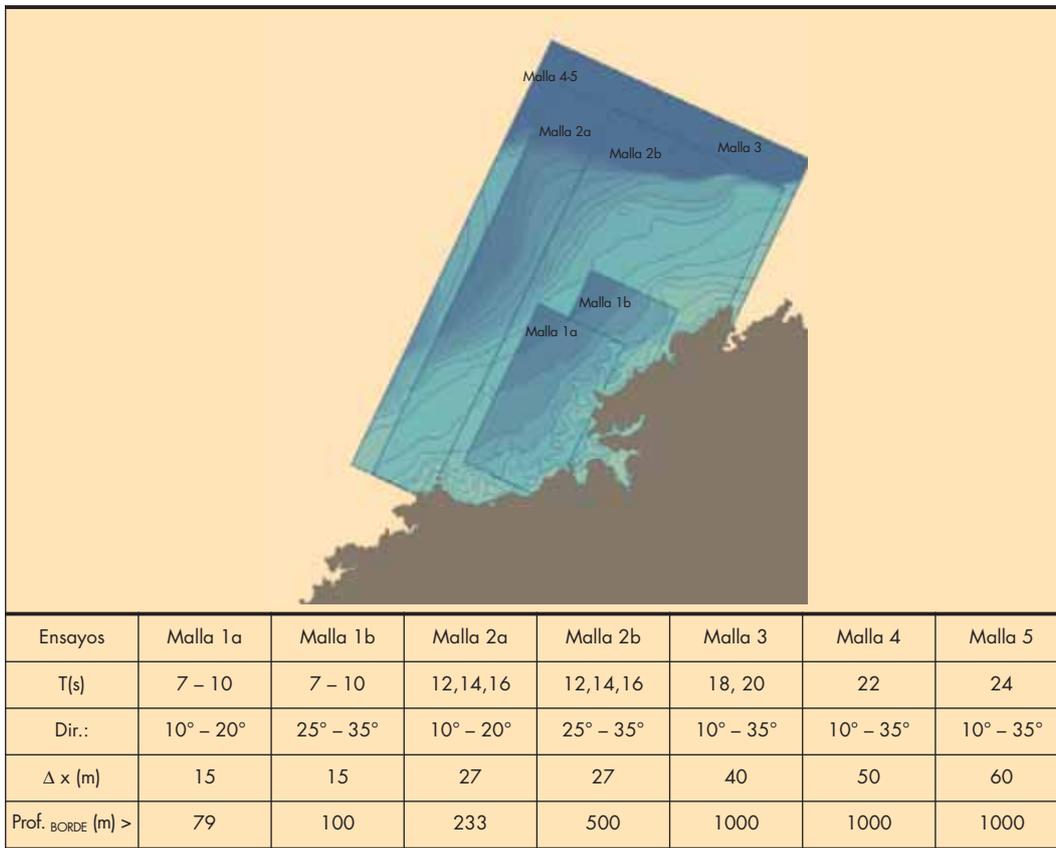


FIGURA 8. Mallas orientadas al N25E.

En la primera gráfica se aprecia como se transforma el oleaje desde aguas abiertas hasta la posición de fondeo de la boya de Langosteira. Se puede ver como los puntos en tonos anaranjados (oleaje proveniente del cuadrante NW) se sitúan cerca de la dia-

gonal, indicando que la transformación que experimenta el oleaje es leve. Los puntos verdes (oleajes del SW) y azules (oleajes del NE) indican por su situación claramente por encima de la diagonal como el oleaje sufre una atenuación más severa por efecto de

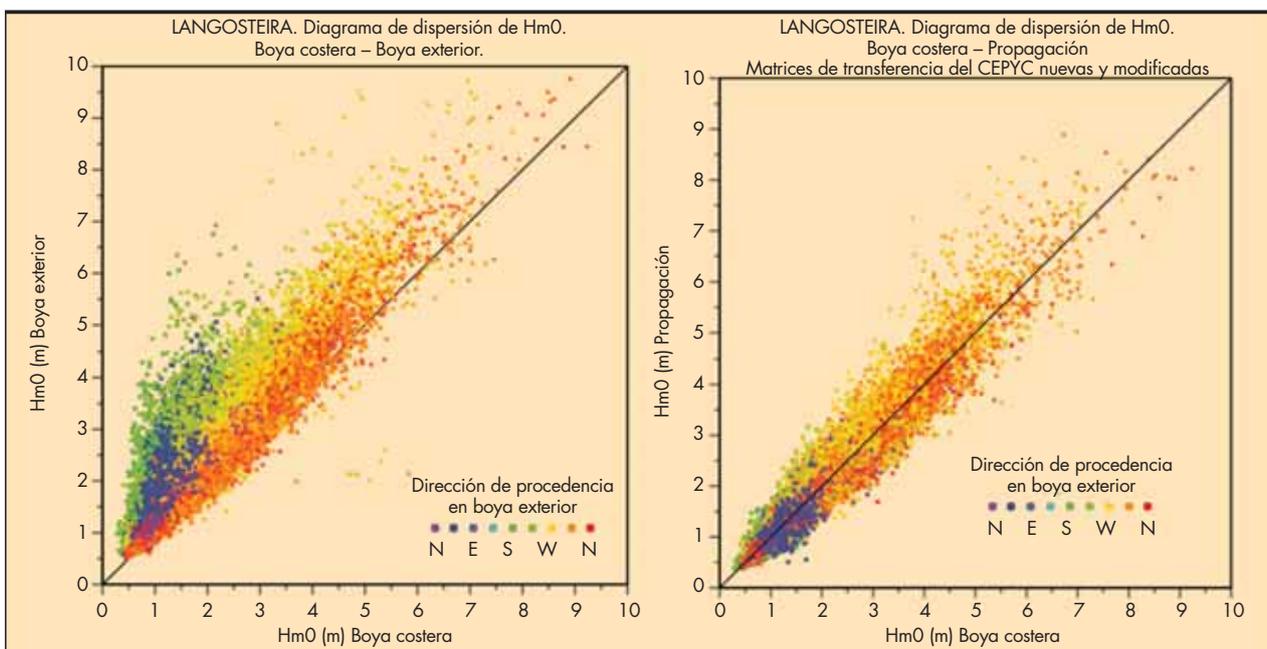


FIGURA 9. Diagramas de dispersión de las alturas significantes.

la batimetría. En la segunda gráfica se aprecia si las matrices realizan de forma correcta la transformación. Se puede observar como los puntos de los diferentes colores se sitúan muy próximos a la diagonal de la gráfica indicando que los oleajes provenientes de todos los cuadrantes se atenúan de manera muy correcta en la transformación inducida por las matrices empleadas.

**6.2. RESULTADOS ESTADÍSTICOS**

Los resultados estadísticos de la comparación de las alturas significantes del oleaje en las boyas exterior (Be) y costera (Bc) por un lado, y la boya costera (Bc) y los valores propagados con las matrices de transformación (Pr) por otro se presentan en la Tabla 2.

Dicha tabla contienen la siguiente información establecida para el conjunto de los datos (sector completo) y para sectores de 30° de amplitud: N indica el número de datos considerados en la correlación,  $\bar{X}$  es la media de la serie, bias es la diferencia entre las medias de las dos series, RMSE es el error cuadrático medio que se calcula mediante la expresión:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}$$

donde N es el número de datos de las series X, Y correlacionadas. Las variables m y b corresponden a la pendiente y a la ordenada en el origen de la recta que resulta de una regresión lineal entre dos variables.

IC es el índice de correlación que se obtiene mediante la expresión:

$$IC = \frac{E[XY] - E[X]E[Y]}{\sqrt{\{E[X^2] - E[X]^2\}\{E[Y^2] - E[Y]^2\}}}$$

El índice de correlación puede tener valores entre 0 y 1 y da una idea de la semejanza en la tendencia de las dos series. Finalmente, el índice de dispersión SI se define mediante la expresión:

$$SI = \frac{RMSE}{\sum_{i=1}^N |X_i|}$$

Los resultados estadísticos entre la información propagada (Pr) y la boya costera (Bc) muestran unos valores muy buenos, con un índice de correlación de 0.96 para el total de los datos, un índice de dispersión de 0.15 y una pendiente igual a 0.99. Estos valores demuestran la gran similitud entre ambos conjuntos de datos.

**6.3. DIAGRAMAS DE DISTRIBUCIÓN Hm0 - DmD (ALTURAS SIGNIFICANTES - DIRECCIÓN MEDIA) DE LAS DOS BOYAS Y DE LA INFORMACIÓN PROPAGADA**

Dado que la boya de Langosteira es direccional se han podido realizar las siguientes gráficas (Fig. 10) que permiten verificar las matrices de transferencia en términos de direcciones.

SECTOR/ NUM. DATOS	X - Y	X (Bc)	Y(Be/Pr)	IC	m	b	RMSE	Bias	SI
SECTOR COMP. N = 32238	Bc - Be	1.801	2.358	0.886	1.05	0.468	0.773	0.557	0.429
	Bc - Pr.	1.801	1.856	0.961	0.993	0.067	0.285	0.054	0.158
SECTOR 0 - 30 N = 3701	Bc - Be	1.507	1.982	0.93	1.122	0.291	0.556	0.475	0.369
	Bc - Pr.	1.507	1.521	0.95	0.937	0.109	0.198	0.014	0.131
SECTOR 30 - 60 N = 3582	Bc - Be	1.322	2.298	0.773	1.372	0.484	1.091	0.976	0.825
	Bc - Pr.	1.322	1.353	0.862	0.846	0.235	0.216	0.031	0.164
SECTOR 60 - 90 N = 180	Bc - Be	1.194	2.841	0.717	1.72	0.788	1.715	1.648	1.437
	Bc - Pr.	1.194	1.236	0.489	0.467	0.679	0.262	0.042	0.22
SECTOR 180 - 210 N = 56	Bc - Be	0.763	2.564	0.78	4.08	-0.549	2.148	1.801	2.816
	Bc - Pr.	0.763	0.904	0.66	0.916	0.206	0.307	0.141	0.402
SECTOR 210 - 240 N = 730	Bc - Be	1.009	2.451	0.782	1.851	0.584	1.628	1.442	1.614
	Bc - Pr.	1.009	1.085	0.894	0.816	0.263	0.213	0.077	0.211
SECTOR 240 - 270 N = 2640	Bc - Be	1.555	2.632	0.849	1.347	0.537	1.25	1.076	0.804
	Bc - Pr.	1.555	1.672	0.921	0.904	0.266	0.301	0.117	0.194
SECTOR 270 - 300 N = 6611	Bc - Be	1.985	2.603	0.945	1.215	0.192	0.796	0.618	0.401
	Bc - Pr.	1.985	2.091	0.958	1.017	0.072	0.339	0.106	0.171
SECTOR 300 - 330 N = 9048	Bc - Be	2.094	2.4	0.966	1.089	0.119	0.463	0.306	0.221
	Bc - Pr.	2.094	2.148	0.965	1.016	0.021	0.32	0.054	0.153
SECTOR 330 - 360 N = 5685	Bc - Be	1.863	2.136	0.963	1.05	0.181	0.392	0.273	0.211
	Bc - Pr.	1.863	1.866	0.967	0.949	0.097	0.241	0.002	0.129

**TABLA 2.** Resultados de la comparación de la boya de Villano-Sisargas con la boya Langosteira y de los datos propagados con la boya de Langosteira. Bc = Boya de Langosteira; Be = Boya de Villano Sisargas; Pr = valores propagados.

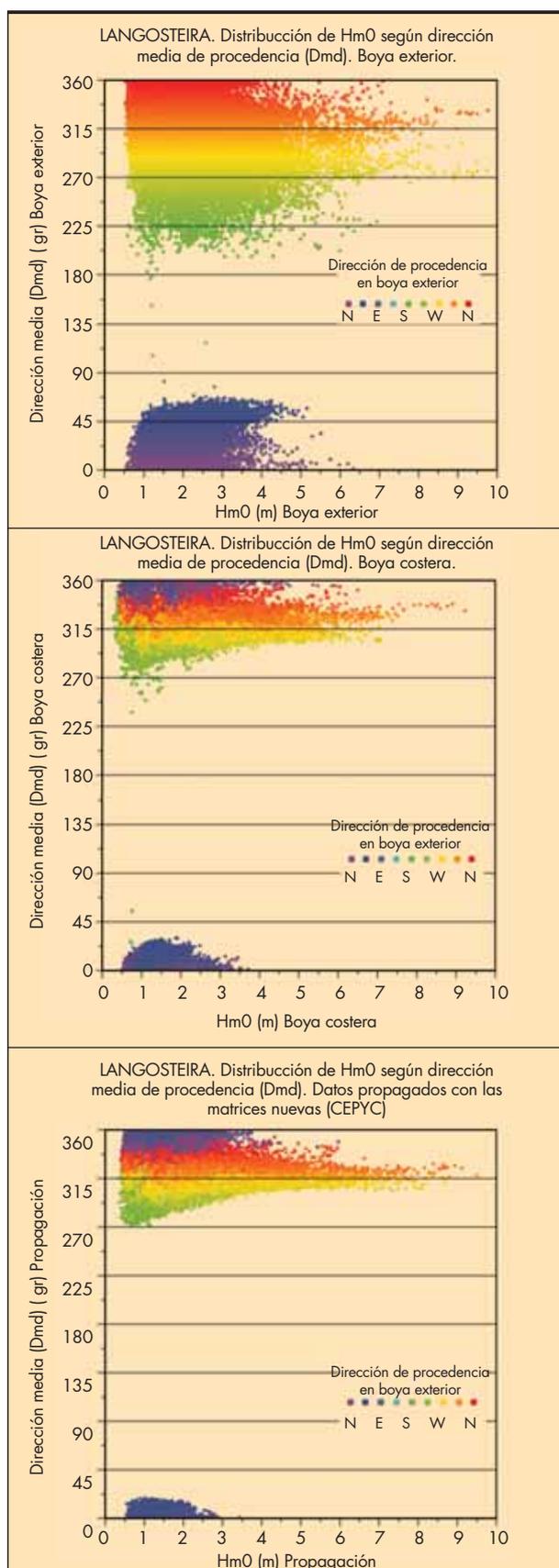


FIGURA 10. Diagramas de distribución de las alturas significantes según la dirección media.

Las gráficas muestran, para cada fuente de información, la distribución de la altura significativa según la dirección media del oleaje. Los colores indican en todas ellas la dirección de procedencia en aguas abiertas (boya exterior). La primera corresponde a la boya exterior, y las dos siguientes a la boyas costera y a los datos propagados. Se puede comprobar como estas dos últimas coinciden bastante bien.

#### 6.4. DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN DE LAS DIRECCIONES MEDIAS DE LA INFORMACIÓN PROPAGADA Y DE LA BOYA COSTERA

Por último, se muestran los diagramas de dispersión de la dirección media entre las dos boyas y la información propagada con la boya costera (Fig. 11). Se observa como en el diagrama correspondiente a propagación-boya costera, los puntos se sitúan muy cerca de la diagonal indicando la correcta transformación inducida por las matrices.

## 7. CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este trabajo, así como los obtenidos en otros emplazamientos de medida de la red costera de Puertos del Estado con otros modelos lineales de propagación de ondas, ponen de manifiesto la validez, aun con limitaciones, de éstos modelos para la transferencia punto a punto del oleaje registrado, u obtenido con modelo de generación de oleaje (WAM), en alta mar, a las proximidades de costa, justo antes de la zona de rompientes, donde los procesos no lineales asociados a la propagación de ondas comienzan a adquirir relevancia.

El posterior anidamiento con otro tipo de modelos más sofisticados, modelos tipo Boussinesq, permitirá monitorizar en tiempo real e incluso predecir, de forma realista, la agitación en el interior de un Puerto, la formación de energía de baja frecuencia, su efecto resonante en el interior de áreas abrigadas, la formación de ondas de orilla, el transporte de sedimentos, etc....

A más largo plazo, la respuesta estructural de las obras de abrigo con base al temporal predicho (modelo WAM), o registrado (red de aguas profundas de PE, o medidas de satélites), en mar profunda será una herramienta de uso habitual en la ingeniería marítima.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Berkhoff, J.C.W., Booy, N., Raddde, A.C., 1982, Verification of Numerical Wave Propagation Model for Simple Harmonic Linear Water Waves.
- [2] Grassa, J.M., 1999, Descripción del modelo MDSL. CEDEX.
- [3] Aberturas Ajenjo, P., y Martín S., M<sup>º</sup> Jesús 2004, "Estudio de Transferencia de Información de Oleaje y redundancias Informativas entre la Red Exterior y la Red Costera. Zona Gallega, Puntos Coruña y Langosteira" Clave CEDEX 24-404-9-154.
- [4] Alfonso, Marta, 2005. "Verificación estadística del sistema de propagación desde las boyas de la red exterior de Puertos del Estado. Periodo: Enero 1999 – Diciembre 2002. Informe técnico de Puertos del Estado.
- [5] Álvarez, E., Gómez, M., Carretero, J.C., Vega, P. y Rivero, F. (1997). Acoplamiento de dos modelos espectrales de oleaje en el marco de un sistema de previsión. Libro de ponencias de las cuartas Jornadas españolas de ingeniería de puertos y costas, Cádiz. Vol 1. pp. 61-75.

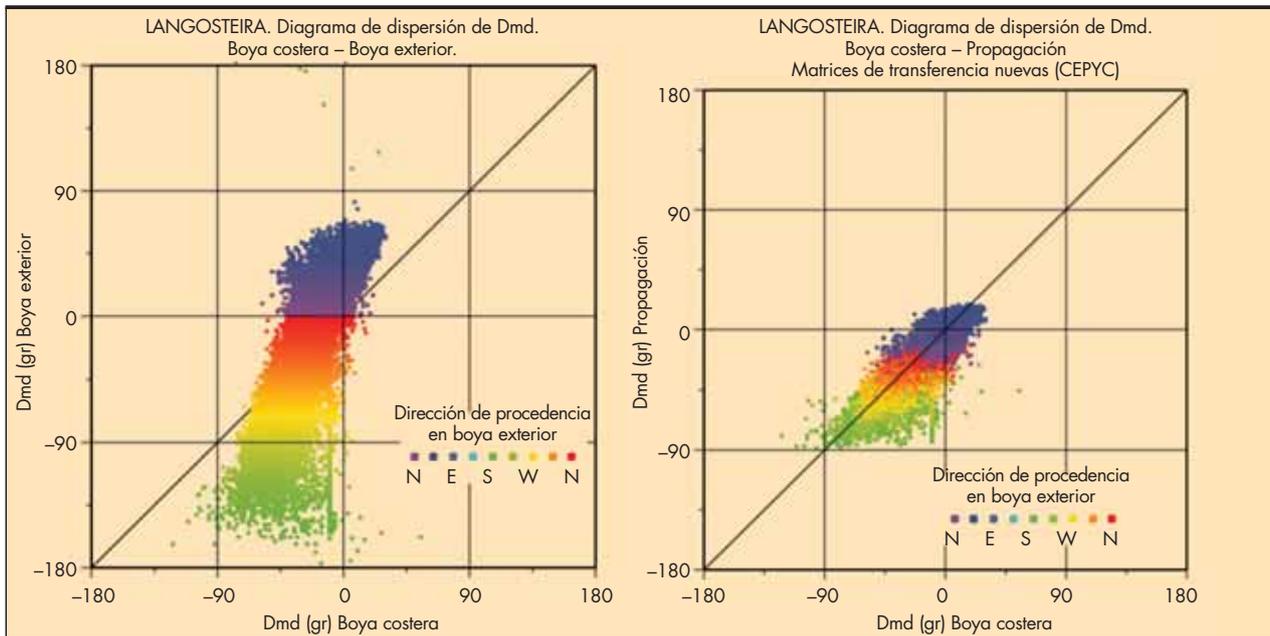


FIGURA 11. Diagramas de dispersión de la dirección media.

[6] WAMDI group (1988). The WAM model- a third generation ocean wave propagation model. JPO, 18, pp. 1775-1810.

[7] Mitsuyasu, H. et al. (1975). Observations of the directional spectrum of ocean waves using a cloverleaf buoy. Journal of Geophysical Oceanography, Vol. 4, pp. 750-760.



# DEKON

TÉCNICAS DE CIMENTACIÓN, S.L.

c/ Sant Gervasi de Cassoles, 33-35, bajos • 08022 Barcelona

Tel: +34 934 186 005 • Fax: +34 932 111 729

e-mail: dekon@dekon.es • <http://www.dekon.es>

**Muros Pantalla**  
**Anclajes**  
**Pilotes**  
**Micropilotes**  
**Inyecciones y recalces**