

Modelización física de oleaje multidireccional en aguas someras

JOSÉ C. SANTAS (*); JOSÉ M. DE LA PEÑA (**); JOSÉ LOZANO (***)

RESUMEN La propagación de oleaje real en aguas someras, mediante modelización numérica (1), no evidenció efectos de 2º orden como los que aparecieron en la Naturaleza. A partir de los mismos registros reales obtenidos en la Playa del Saler, se ha realizado la modelización física en la idea de obtener una mejor reproducción del fenómeno mediante el tanque 3-D del CEDEX. Los resultados muestran ondas de orilla y picos de 2º orden, sub- y super-armónicas en consonancia con lo detectado en la Naturaleza.

PHYSICAL MODELLING OF MULTI-DIRECTIONAL WAVES IN SUPERFICIAL WATERS

ABSTRACT The real wave propagation on shallow water using numerical models (1) did not show 2nd order effects like they appeared in the prototype. From the same real data, obtained in the Saler Beach, it was done the physical modeling in order to reproduce better that phenomenon using the 3-D basin of the CEDEX. The results show beach-cups and peaks of 2nd order, sub- and super-harmonics like they appear on the prototype.

Palabras clave: Modelización; Oleaje; Multidireccional; Someras.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo general del Estudio (2) realizado en la Playa del Saler fue la monitorización y seguimiento de la posible evolución de la misma. Como consecuencia de este objetivo, se obtuvieron las informaciones necesarias para la entrada de datos y calibración de modelos de propagación del oleaje (3), entre las que cabe citar:

- Campañas Batimétricas.
- Medida y registro de oleaje direccional.

La campaña de toma de datos se realizó entre febrero de 1993 y junio de 1995.

La zona en estudio, figura 1, se sitúa en la playa del Saler comprendida entre las golas de Puchol y de Perellonet, desde la zona dunar hasta una profundidad media de 10 metros, tomando, como control, el perfil correspondiente al Parador Nacional "Luis Vives" de Valencia, figura 2, centrado en el tramo de costa en estudio, sobre el que se situaron los puntos de medida de oleaje, en calados de 3.2 (zona de transbarra), 10 metros, (con un equipo EMCM) y un punto

exterior de medida de oleaje direccional, mediante boya, a 47 metros de calado.

Las características de la campaña de medición así como de los equipos y sistemas empleados se pueden resumir en los siguientes puntos (4):

- Batimetrías completas de la zona, 2 por año, llegando hasta la playa de Pineda, con separación media de 50 metros entre perfiles.
- Perfil de control: medido 12 veces durante toda la campaña.
- Oleaje direccional: Boya direccional Waverider Datawell y 2 Correntímetros Electromagnéticos con célula de presión InterOcean S4ADW.

2. ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE LOS DATOS DE OLAJE

El análisis de cada estado de oleaje se realizó a posteriori, obteniéndose los parámetros usuales para la descripción direccional de los mismos, empleando los estimadores tipificados usuales para los que se ha empleado las recomendaciones de la IAHR, 1986, 1987, 1997 (5). Así, a partir de los coeficientes $\{a_1, b_1, a_2, b_2\}$ se obtienen los co- y quadru-espectros de onda, mediante los cuales se calculan los estimadores de:

S(f), espectro escalar de energía, con el que se calculan los valores tipificados m_0, T_x, T_{zx}, T_p , y los correspondientes a D(θ, f), función de esparcimiento direccional, estimada por medio de $ThTp, Thm, \sigma(\theta_p)$ y $\sigma(f=1.5^\circ f_p)$.

A partir de los resultados anteriores se han obtenido los parámetros óptimos del ajuste a espectros tipificados JONSWAP, ($\gamma, \sigma_1, \sigma_2$), y a la distribución direccional de Mitsuyasu en $\cos^{2s(p)}$ donde s(p) es el parámetro de Mitsuyasu para

(*) Coordinador Programa Medidas Avanzadas en la Naturaleza. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Ministerio de Fomento). Jose.C.Santas@cedex.es.

(**) Jefe de la División de Estudios Utrales. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Ministerio de Fomento). Jose.M.Pena@cedex.es.

(***) Jefe de la División de Modelos Físicos. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Ministerio de Fomento). Jose.Lozano@cedex.es.



FIGURA 1. Plano de situación

f=fp, obtenido a partir de la expresión aproximada $\sigma^2 = 2/(s+0.5)$ para la banda del pico de energía, figura 3.

3. SELECCIÓN DE ESTADOS DEL MAR PARA LA PROPAGACIÓN

A partir de los resultados obtenidos para cada estado del mar, se han elegido 4 de ellos como representativos de situaciones medias, con los siguientes criterios:

- Existencia de registros simultáneos en 2 de los 3 equipos.
- Condiciones no extremas.
- Forma espectral estrecha y unimodal, tanto en frecuencias como en la función de esparcimiento direccional,
- Baja dispersión direccional ($s > 3$), y
- Dirección de incidencia cercana a la normal a la costa

Los estados elegidos fueron los que aparecen en la tabla 1.

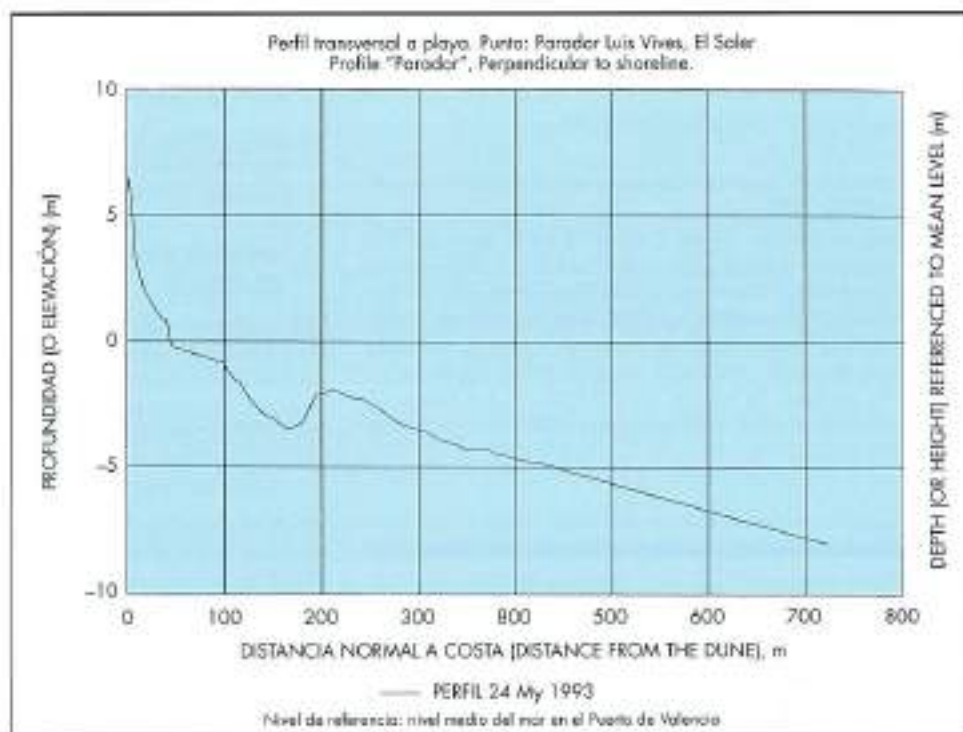


FIGURA 2. Perfil de control frente al Parador Luis Vives.

TESTS Nº	PARÁMETROS DEL AJUSTE JONSWAP				PARÁMETROS AJUSTE FUNCIÓN DISPERSIÓN DIRECCIONAL			
	Hm0 (30 m)	Hm0 (30 m)	Tp sp.	γ	$\alpha = B(Tp)$	$\sigma(\theta_p/2)$	S_p	θ
15	1.82	1.63	12.5	2.61	67	12	10	3
17	1.40	1.32	11.1	1.86	67	13	9	3
21	1.20	0.70	7.7	1.44	60	17	5	10
22	0.52	0.47	7.7	1.44	60	17	5	10

donde:
 Hm0 = Altura significativa deducida a partir m0.
 Id. (30 m) = Deducida de los datos de la boyo.
 Id. (30 m) = Propagada desde la boyo a la posición de la paleta.
 Tp = Período de pico del espectro normalizado de energía, 16 g/dib.
 γ = parámetro de apuntamiento Jonswap.
 $\alpha = B(Tp)$ = dirección de incidencia del pico de energía.
 $\sigma(\theta_p)$ = dispersión standard de la direcciones en $1/10$.
 S_p = parámetro de Mitsuyasu en el pico de energía.
 θ = ángulo formado por la normal a la costa y la dirección de incidencia.

TABLA 1. Selección de estados del mar para la propagación.

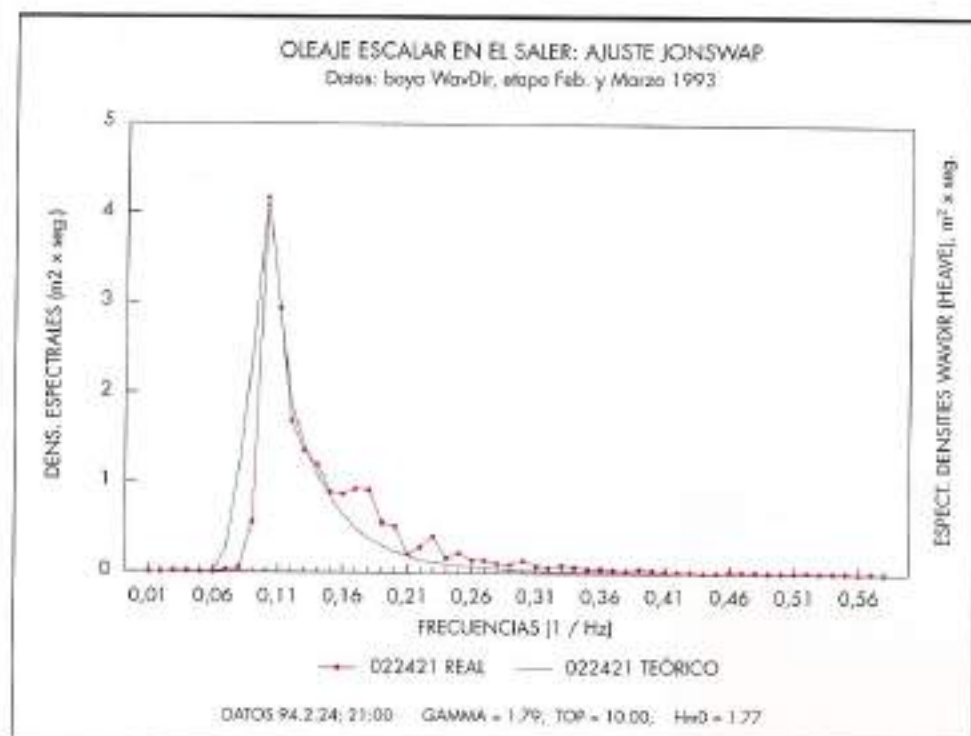


FIGURA 3. Ajuste espectral de un registro real.

4. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO FÍSICO

El tanque multidireccional del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX, figura 5, tiene las siguientes dimensiones: 34 x 26 x 1.6 m. El sistema generador está formado por un conjunto de 72 paletas independientes del tipo pistón de 1.3 por 0.4 metros con un frente total activo de 28.8 m. El sistema de control consta de 72 módulos independientes, controlados por un ordenador VAX mediante una red Ethernet. El sistema de control y el software correspondiente, GEDAP, fue fabricado e instalado bajo la patente del NRC de Canadá. El método de generación empleado es suma simple y la duración de cada serie de datos obtenida

en cada actuación es de 30 minutos, con un total de 16.400 puntos por muestra, (6).

El área modelizada cubre la zona del Saler, entre la línea de costa y la batimétrica de 30 metros, con una escala no distorsionada de 1:50, con fondo fijo, que reproduce el perfil de control, figura 6, con una zona de regularización previa de 2.5 metros hasta el frente de paletas.

La instrumentación empleada para la medición del oleaje y servorregulación del sistema estuvo formada por (figura 7):

1) Sistemas direccionales:

- 2 plataformas de 6 sondas en disposición pentagonal, localizadas sobre el eje del modelo, en:

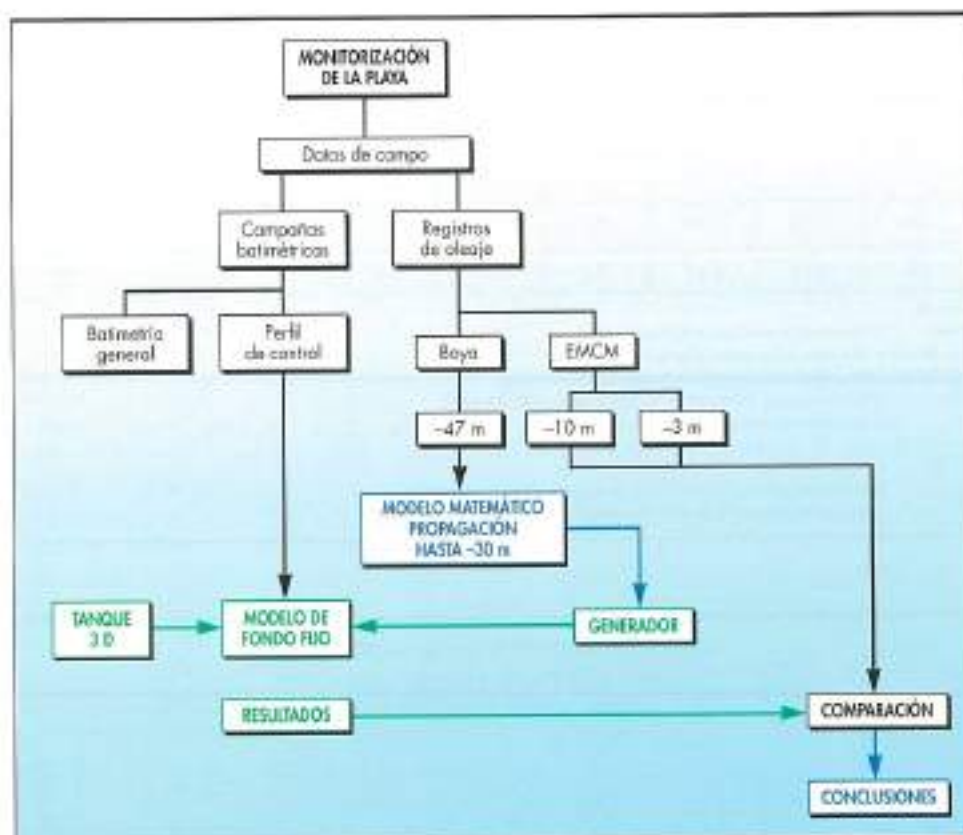


FIGURA 4. Flujo de información y metodología general del trabajo.



FIGURA 5. Vista general del tanque.

- la 1ª en el punto de control, a 2 metros del frente activo, y la 2ª móvil a lo largo del eje, en puntos correspondientes a calados simulados de 4, 6, 8 y 10 metros, alternativamente, y
- 2 EMCM, situados también sobre el eje del modelo, en

- el 1º en la transesta, a -3.2 metros modelizados, y el 2º móvil a lo largo del eje, en puntos correspondientes a calados simulados de 4, 6, 8 y 10 metros, alternativamente

2) Sistemas escalares (movimiento vertical):

- 1 plataforma con 9 sondas dispuestas longitudinalmente, alternativamente situada a uno u otro lado del eje, a lo largo de las Batimétricas de 4, 6, 8 y 10 metros, figura 8.

El análisis empleado (7) sobre las series temporales fue el método de Máxima Entropía (MEM), tanto para las series obtenidas de las plataformas pentagonales como para los correntímetros, lo que permitió obtener las características del espectro direccional en cada punto del eje, así como los espectros escalares de los medidores localizados a lo largo de las líneas batimétricas.

5. DATOS GENERALES OBTENIDOS

Se simularon los 4 estados seleccionados, repitiéndose cada uno de ellos hasta tener una serie completa para cada medidor, con un total de 32 ensayos, de los que se obtuvieron los siguientes datos generales (figura 9):

- Espectros direccionales de oleaje a lo largo del eje del modelo, en las cotas de medición:
 - función de esparcimiento direccional $D(f, \theta)$ para $f=f_p$ y $f=1.5 \cdot f_p$.
 - dirección media de incidencia de cada banda frecuencial: $\alpha(f)$.
 - desviación estándar del esparcimiento direccional: $\sigma(f)$.

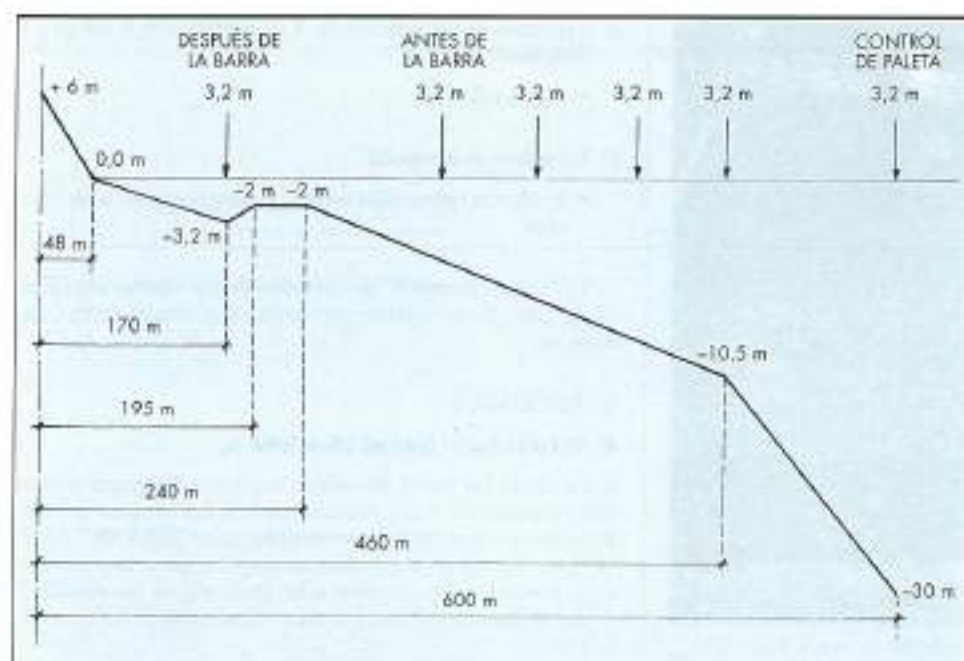


FIGURA 6. Perfil de control modelizado y disposición de las sondas axiales.

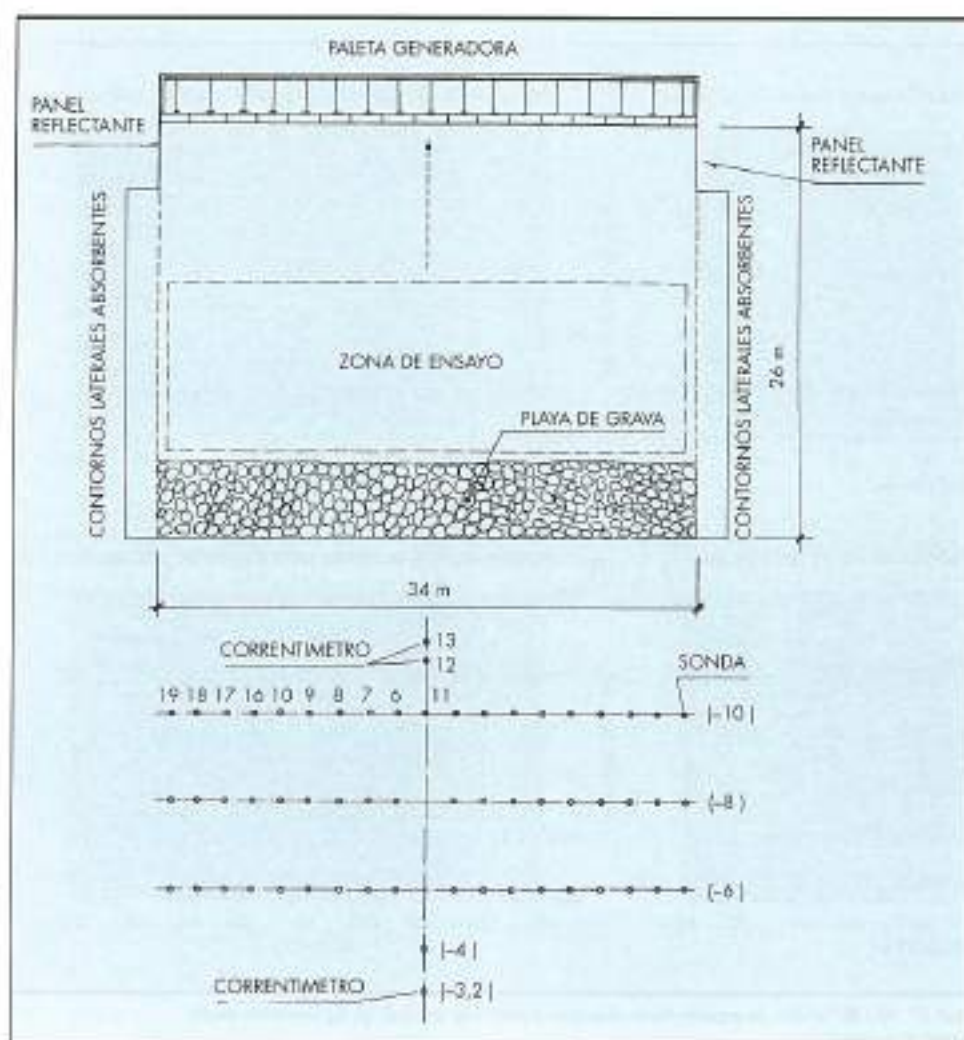


FIGURA 7. Planta de modelo y disposición de las sondas.



FIGURA 8. Medida de la variación longitudinal de H_s a lo largo de la batimétrica B.

b) Espectros de velocidades en X (perpendicular a costa) e Y (longitudinal):

- $S_{ux}(f)$ y $S_{uy}(f)$.

c) Espectros de elevación:

- $S_{\eta}(f, n, m)$ para cada n-línea batimétrica, en la m-posición.

Cada serie permitió la obtención de los valores significativos, tanto los calculados por medios espectrales como estadísticos.

6. RESULTADOS

A) VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALTURA H_s

A partir de los datos obtenidos mediante las generaciones correspondientes a las simulaciones de los estados del mar definidos por las condiciones denominadas TEST 15 y TEST 17, que, dentro de los 4 estados elegidos para la modelización, presentan las mayores alturas de ola, se ha estudiado la variabilidad local de la altura significativa H_s , figura 10, a) y b).

En ambos casos se distinguen claramente dos hechos:

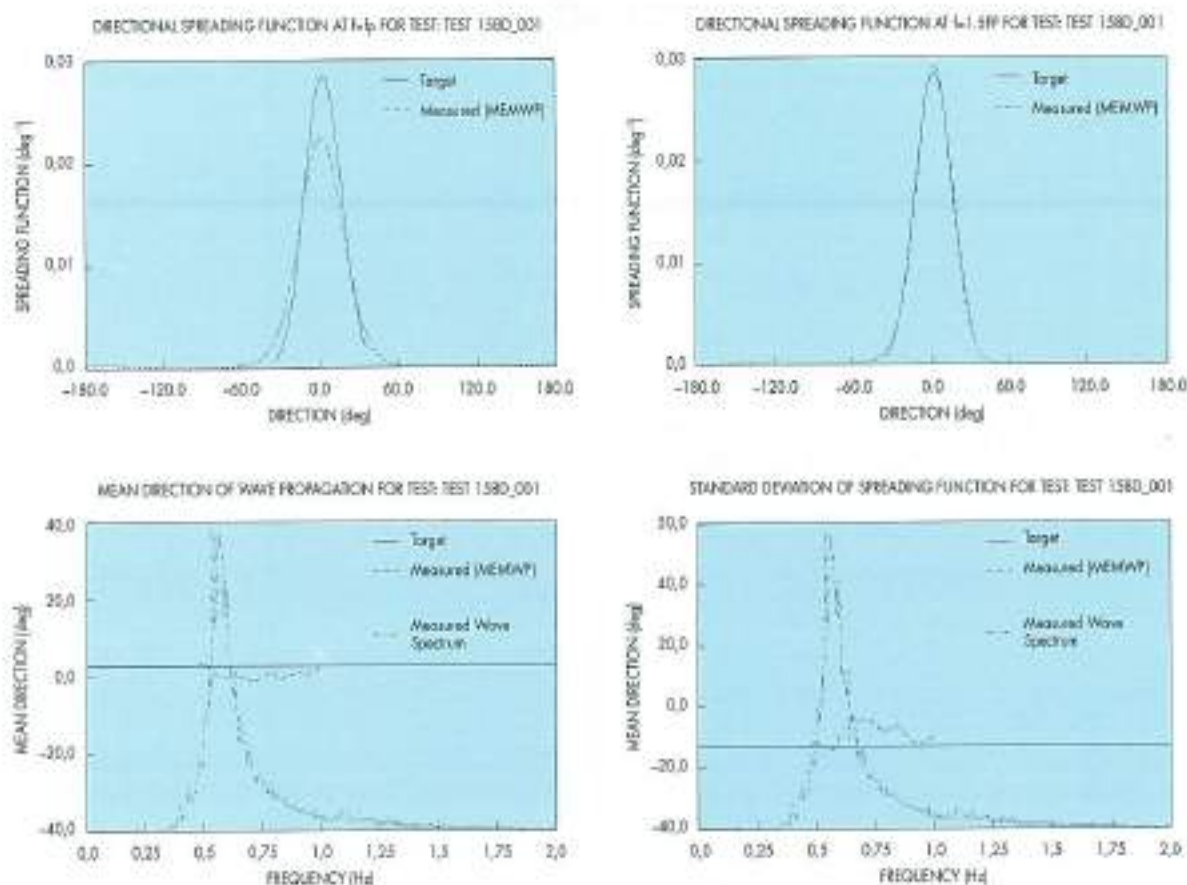
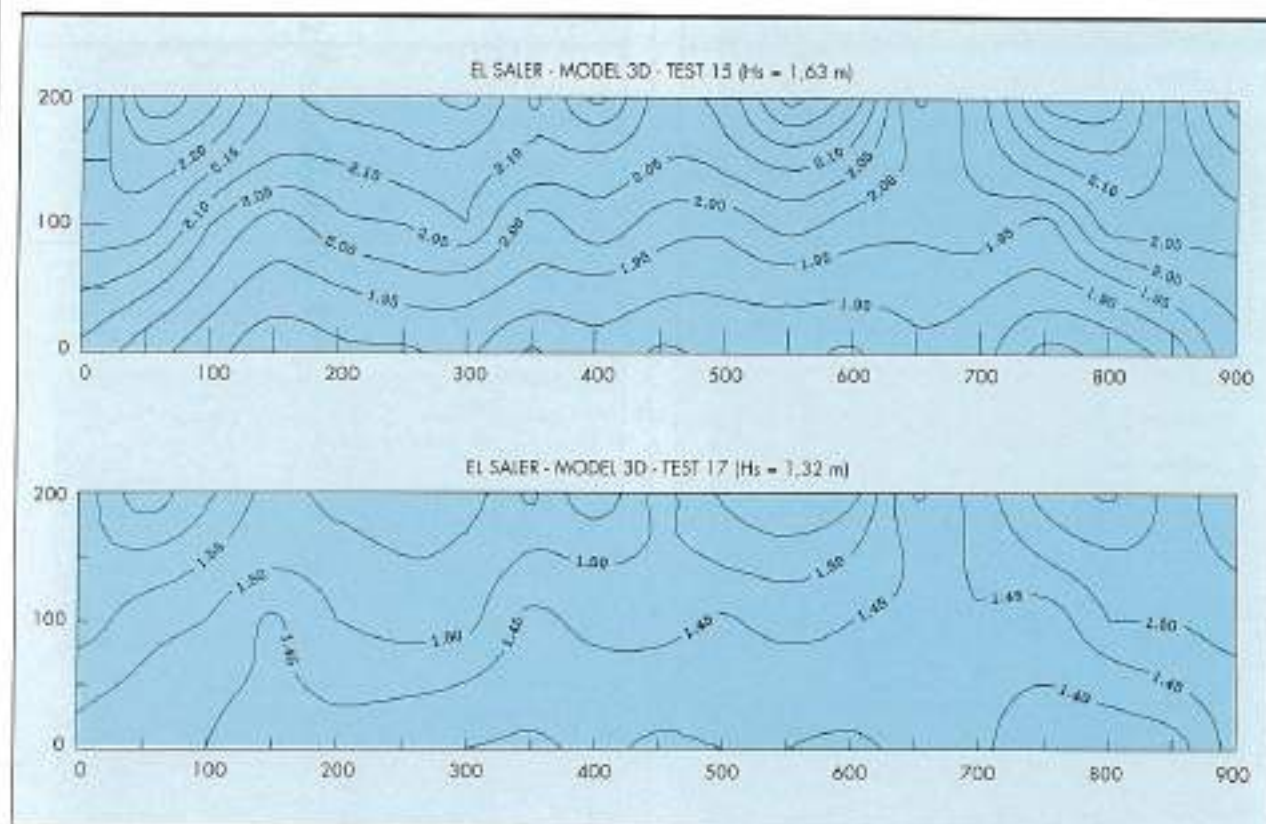


FIGURA 9. Solidos obtenidos para el test 17. A) y B) Función de esparcimiento direccional para $f=f_p$ y $f=1.5 \cdot f_p$; C) Dirección media y D) Desviación estándar del esparcimiento direccional.


 FIGURA 10. Variabilidad local de H_s , simulaciones de los estados Test 15 y 17.

- 1) Disminución de la altura a ambos lados del área modelizada, tanto mayor cuanto más al borde y en el lado exterior está el punto de medición. El efecto es debido a la no homogeneidad de la zona de generación, ya detectados en los ensayos con oleaje direccional, y puestos de manifiesto en M.Miles, 1997, (8). Este efecto crece al aumentar el espaciamiento del oleaje (s_p menores) y con oblicuidad del oleaje incidente.
- 2) Aparición de ondas de orilla, que, para los estados generados, corresponden a una longitud de onda de 150-200 metros. Este fenómeno ha sido también detectado en la Naturaleza, pero pocas veces se ha registrado en modelo, dado que sólo son generadas por interacción de las difentes bandas del oleaje real, multifrecuencial y multidireccional (9).

La variabilidad de H_s que se ha detectado está más en consonancia con las medidas en prototipo que los resultados que en su día se obtuvieron (10) para la modelización numérica, tanto para modelo lineal, REF-DIF, Grassa, J.M. (11), como para modelo de Boussinesq, MIKE21[®].

B) PICOS DE 2º ORDEN: f_+ y f_-

En las figuras 11 a), b), c), d) y e), puede verse cómo aparecen dos picos extras a ambos lados del pico principal según va disminuyendo la profundidad de la capa de agua. El efecto corresponde a la interacción de segundo orden en aguas someras entre las componentes del pico principal, que obviamente no se pone de manifiesto en modelos lineales.

La banda de ondas conocida como *set-down* corresponde a la interacción cuya frecuencia es inferior a la del pico, siendo las frecuencias elementales $f^{(1)}_{\pm}$ las que se obtienen mediante la diferencia $f_+ - f_-$, siendo f_+ y f_- frecuencias del oleaje incidente, Sand, S. (12), razón por la que hemos designado este grupo por f_- . Son evidentes en poca profundidad y llegan a liberarse del oleaje como ondas libres, manteniéndose en la transbarra, figura 12 e).

De forma similar aparecen los picos de interacción de frecuencia superior f_+ , correspondiente a las frecuencias individuales $f^{(1)}_{\pm} = f_+ + f_-$, y que por lo tanto aparecen en altas frecuencias y que en la Naturaleza se disipan rápidamente por fricción interna. Están ligadas al oleaje y desaparecen en la transbarra (figura 11,e).

Este mismo efecto aparece en las corrientes asociadas al oleaje. Designando como eje X la dirección perpendicular a la línea de costa en dirección saliente, y eje Y al paralelo a la costa, se observa que la corriente según X, perpendicular a costa, manifiesta más claramente el pico correspondiente a f_+ , sobre todo cerca de costa, figura 12, mientras que la interacción de tipo *set-down*, f_- , que aparece en los 2 ejes, se manifiesta más claramente en la dirección *long-shore*, Y, dado que en esa dirección la componente del oleaje es menor. La relación hallada para los momentos totales es:

$$m0_y/m0_x = 0.1$$

congruente con la tangente del ángulo que forman los vectores $\mathbf{k}$ y $\mathbf{n}$ (de incidencia del oleaje y el normal a la playa, respectivamente).

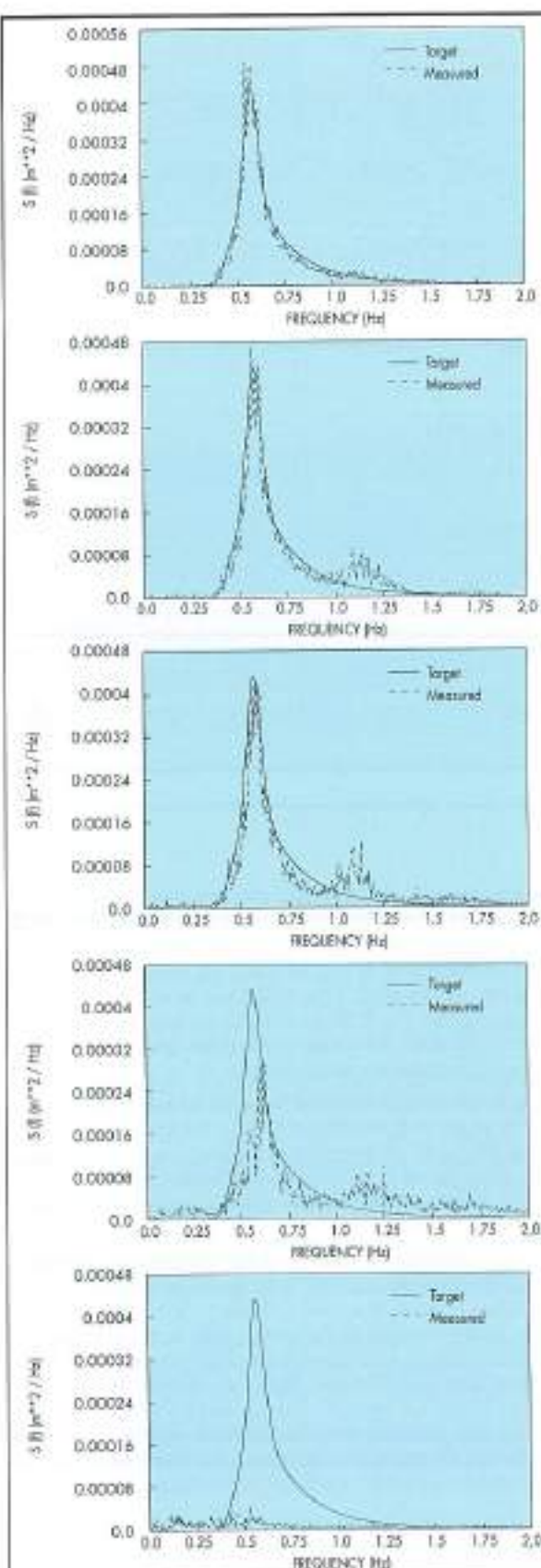


FIGURA 11. Propagación de un espectro de elevación de oleaje en aguas someras: a) 10 m, b) 8 m, c) 6 m, d) 4 m y e) 3.2 m, transbarra.

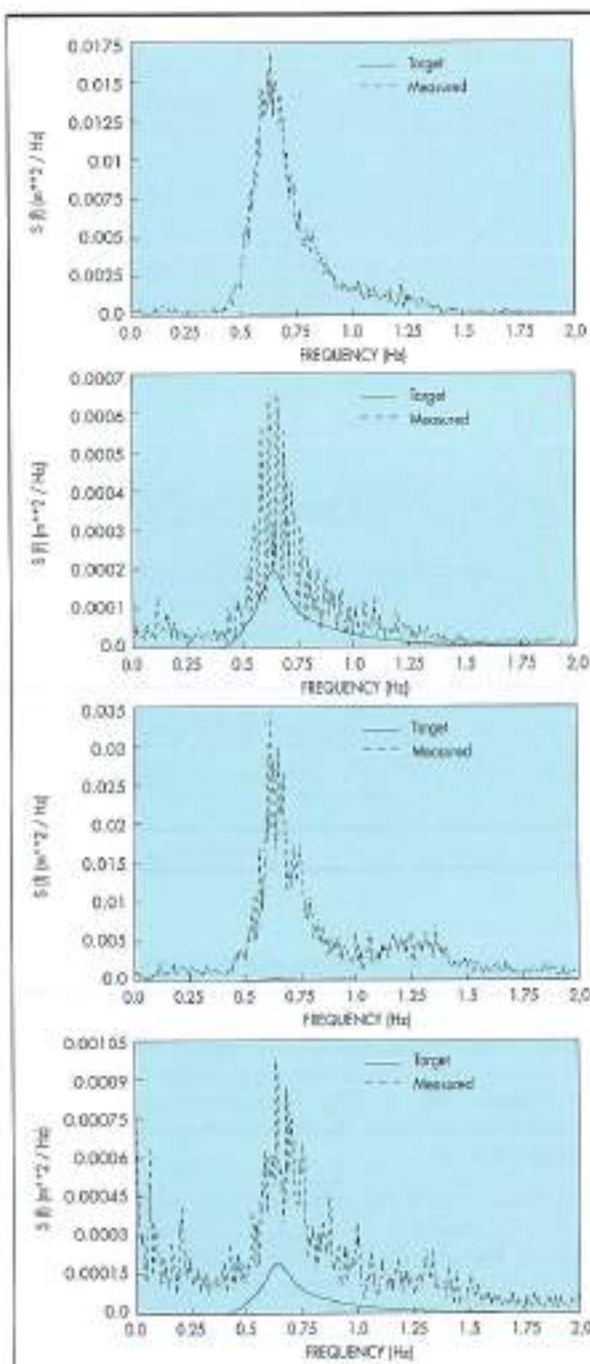


FIGURA 12. Espectro de las velocidades asociadas al oleaje, direcciones normal (X) y paralela a costa (Y), en el eje del modelo, con láminas correspondientes a 8 y 4 metros.

El porcentaje de energía que aparece en cada pico de 2º orden respecto a la energía total, estimada mediante los coeficientes aproximados:

$E_{10} = m_{10}/m_0$, $E_{17} = m_{17}/m_0$ para los test ensayados de mayor ola, 15 y 17, presentan una variación muy uniforme con la profundidad, tal como aparece en la figura 13.

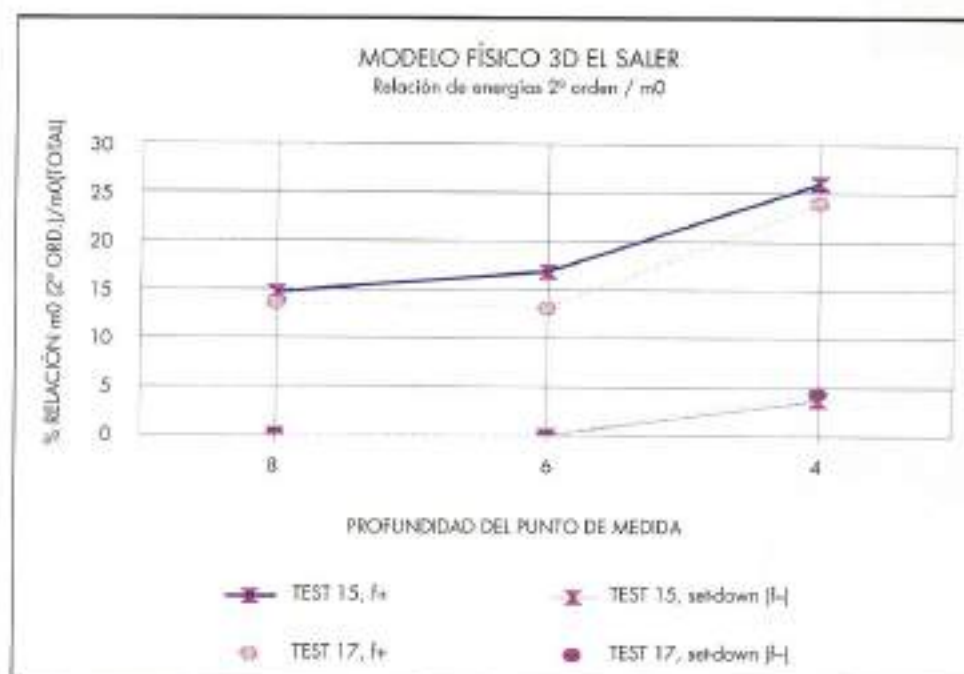


FIGURA 13. Variación del porcentaje de energía contenida en los picos de 2º orden, respecto a la energía total, en función de la profundidad de la lámina de agua.

7. CONCLUSIONES

Se ha estudiado la propagación del oleaje real mediante modelo físico 3-D con oleaje multifrecuencial y multidireccional, de espectro estrecho, reproduciendo una zona de aguas someras típica de playa, que corresponde a la idealización de la playa del Saler.

La metodología empleada produce resultados muy de acuerdo con lo observado en el prototipo, que mejoran los resultados de modelo numérico. Las zonas laterales del modelo presentan ligeras distorsiones debido a estar fuera de la zona de trabajo del oleaje, cuyas dimensiones dependen de la dispersión direccional y del ángulo de incidencia usados en la generación.

Los fenómenos derivados de las interacciones de 2º orden son puestos de manifiesto tales como las ondas de orilla y los picos de 2º orden, frecuencias superiores, f_+ , e inferiores, f_- . El comportamiento de ambas bandas energéticas es muy diferente: mientras que la banda f_- presenta menor porcentaje de energía y desaparece al alejarse de costa, la banda f_+ presenta mayor porcentaje energético en aguas muy someras, disminuyendo al ir aumentando la profundidad.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado en el CEDEX, en el tanque tridimensional del Centro de Estudios de Puertos y Costas proveniente la información utilizada del estudio realizado en la Playa del Saler, formando parte del proyecto MAST-2, "G8M, Coastal Morphodynamics Research Programme" bajo contrato con la C.E., referencia MAST-2 CT92-0027. Se agradece la colaboración prestada por los técnicos del CEPYC, y especialmente a D. Luis Alegre en el desarrollo de las técnicas de medición en modelo físico.

REFERENCIAS

- (1) PEÑA, JOSÉ M. DE LA; JOSÉ C. SANTAS, 1995; "Comparación de datos de oleaje en modelo y Naturaleza,

en la Playa de El Saler, Valencia, 1ª fase", Rev. Ing. Civil, 97, 51-57.

(2) Cedex-Cepyc, 1993; "Seguimiento de la Playa de El Saler", Informe Técnico para la Doon.Gral de Costas.

(3) SANTAS, JOSÉ C., 1994; "Simultaneous Waves Measurements in the Saler Beach", Overall Workshop G8 Coastal Morphodynamics, Gwynnog (Gales), RU.

(4) Cedex-Cepyc, 1995; "Data Sets for Coastal Area Modelling at El Saler Beach", Informe Técnico para la C.E.

(5) IAHR, "List of Sea States Parameters", IAHR-PIANC boletín 52, (1986); 22th Congreso Int. de la IAHR, (1987), 27 Congreso IAHR, San Francisco, (1997).

(6) SANTAS, JOSÉ C.; JOSÉ M. DE LA PEÑA y JOSÉ LOZANO, 1996; "Monitoring and modelling on Shallow Water waves propagations in El Saler Beach", 25th Int. Conf. On Coastal Eng., Orlando, EE.UU.

(7) NWOGU, OKEY, 1989, "Maximum Entropy Method Estimation of Directional Wave Spectra from an Array of Wave Probes", App. Oc. Res., Vol II, No 4.

(8) MILES, MIKE, EL alt, 1997, "A comparison study of multidirectional waves generated in Laboratory Basins", en preparación para la 27th IAHR Int. Congress, San Francisco, EE.UU.

(9) LECHUGA A., 1986; "Formas rítmicas en playas: su relación con la evolución costera", Cuadernos de Investigación CEDEX, C-17.

(10) SANTAS, JOSÉ C.; J. M. DE LA PEÑA, 1995, "Wave Propagation in Shallow Waters: Modelling and Real Data", Int. Conf. on Coastal Dynamics, Dancing, Polonia.

(11) GRASSA GARRIDO, J. M., 1993; "Modelos parabólicos de propagación de oleaje", Cuadernos de Investigación (C33) del CEDEX, MOPT.

(12) STIG E. SAND; A. E. MYNETT, 1987; "Directional Wave Generation and Analysis", IAHR Seminar on Wave Analysis and Generation in Laboratory Basins, Lausana, Suiza.

INGENIERIA CIVIL

- Agronomía
- Obras Hidráulicas
- Ingeniería Sanitaria
- Estudios y Proyectos Medioambientales
- Ingeniería de Costas
- Ordenación del Territorio y Desarrollo Regional
- Geología y Minería
- Ingeniería del Transporte



INFORMES Y PROYECTOS, S.A.,
es una empresa de Ingeniería y Consultoría con más de 25 años
de experiencia en los campos de la Ingeniería Civil, Industrial,
de Recursos Naturales y de Tratamiento de Residuos.



ER-496/1996

UNE-EN ISO 9001

General Díaz Perier, 49 - 28001 MADRID Tel. (91) 402 55 04 - 402 50 12 Fax (91) 402 13 91
Plaza Fernando Lesseps, 33 - 08023 BARCELONA Tel. (93) 415 00 17 Fax (93) 218 65 35
DELEGACIONES EN: SEVILLA, ZARAGOZA, GUON, GALICIA, MURCIA Y VALENCIA

