

La playa de Calahonda (Granada)

JOSÉ MARÍA MEDINA-VILLAVARDE (*)

RESUMEN La playa de Calahonda está situada en la costa mediterránea andaluza, en la provincia de Granada. La playa presenta desde hace algún tiempo problemas de estabilidad, unidos a la aparición de movimientos "extraños" en la línea de orilla. En base a conocer el porqué de esta situación y como abordar la toma de posibles soluciones, se realizó un estudio completo de la playa, que a continuación se esquematiza.

CALAHONDA BEACH (GRANADA)

ABSTRACT Calahonda Beach is located in the Mediterranean Coast of Andalucía (Southern Spain), in the department of Granada. The beach has stability problems since some time ago; furthermore, some "strange" movements of the shoreline appeared. In order to know why is this situation happening?, and the most important of is possible to avoid this danger?, a complete study of the beach was carried out, and in the following lines it is going to be summarized.

Palabras clave: Granada; Calahonda; Playa; Perfiles; Beach cusps; Ondas de orilla; Erosión.



FIGURA 1. Situación de la playa de Calahonda.

1. SITUACIÓN Y CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DE LA PLAYA

La playa de Calahonda se encuentra situada en el término municipal de Motril, en la costa granadina. La figura 1 muestra su emplazamiento. La playa se desarrolla de sur a norte entre una flecha litoral (la Punta de Carchuna) y un farallón acantilado (el Cerro Gordo), a lo largo de unos 1.500 m. Su extremo norte aparenta la forma teórica de una espiral logarítmica apoyada en el acantilado, que hace sospechar la existencia de modelado por difracción del oleaje. En la fotografía 1 puede verse la planta de la playa.

2. ESTUDIOS ACOMETIDOS

En una primera aproximación, los estudios realizados fueron, esencialmente, los comunes a cualquier problema general de Ingeniería de Costas; sin embargo, durante la realización de los mismos se descubrió la posible influencia de efectos de segundo orden, en forma de resonancias con ondas de orilla, lo que incitó a ejecutar en una segunda etapa algunos estudios sobre las condiciones de reflectividad de la playa, que fueron finalizados con resultado positivo. En una tercera etapa se estudiaron las causas del problema, así como las soluciones factibles que se podrían tomar para paliarlo. Los estudios realizados fueron los siguientes:

Primera etapa:

- 1) Evolución histórica de la línea de orilla.
- 2) Clima marítimo en la costa andaluza mediterránea.

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Sector de Costas del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (MOPTMA).



FOTO 1. Punta de Carchuna, desde el Cabo Sacratil.

- 3) Propagación de oleaje.
- 4) Transporte sólido.
- 5) Estabilidad en planta.
- 6) Estudio del perfil de playa.

Segunda etapa:

- 1) Condiciones de reflectividad.
- 2) Condiciones de resonancia.
- 3) Aparición de beach cusps.

Tercera etapa:

- 1) Delimitación de causas que generan la inestabilidad.
- 2) Factibilidad de alimentaciones artificiales periódicas.

3. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA LÍNEA DE ORILLA

En el banco de datos del CEPYC sobre evolución de la línea de orilla existen datos cuantificados de movimientos de la misma a lo largo de la casi totalidad de la costa arenosa española. De la playa de Calahonda se tienen datos de este tipo, numéricos y gráficos (restitución) entre los años 1957 y 1977, existiendo, además una restitución fotogramétrica adicional realizada en el año 1981.

La tabla 1 muestra los datos numéricos de variabilidad de posición de la línea de orilla y superficie de la playa entre los años 1957 y 1977. Las columnas de datos absolutos muestran las variaciones globales, en tanto que las de datos relativos indican las variaciones entre campañas sucesivas de toma de datos.

Con posterioridad al año 1977 se dispone de los trabajos fotogramétricos referenciados en la tabla 2, que permiten, de forma cualitativa, investigar la evolución, tanto de la posición de la línea de orilla, como de las condiciones de contorno de la playa, particularmente, del crecimiento de la actividad urbanística. Por razones de espacio, no pueden incluirse todos los trabajos y fotografías citados en estas páginas. La figura 14 muestra la evolución de la línea de orilla entre 1947 y 1977.

De la observación de las fotografías se desprende la invasión paulatina de la playa por la presión urbanística, así

como la evolución de la forma libre constituida por la Punta de Carchuna. Su movimiento es oscilante, respondiendo a las sollicitaciones que impone la dirección de propagación del oleaje.

4. CLIMA MARÍTIMO EN LA COSTA ESTE ANDALUZA

El estudio del clima marítimo se realizó siguiendo lo publicado en las Recomendaciones de Obras Marítimas del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.

Se comprobó que los temporales más frecuentes que afectan a la zona, con mucha diferencia sobre los demás, son los este y oeste, por este orden para mar de viento (SEA) y en orden inverso en caso de mar de fondo (SWELL).

Con respecto a los regímenes de oleaje, a efectos de la consecución de datos para los demás estudios, se adoptaron los valores siguientes: en cuanto al régimen extremo, el correspondiente a un período de retorno de 35 años es $H_{1,35} = 6,0$ m con un período asociado $T = 15$ s. La altura de ola cuya probabilidad de excedencia es del 20% en régimen medio es $H_{1,2} = 0,80$ m, y su período se sitúa en torno a los 6 s. A efectos de la zonificación del perfil transversal se necesita la altura de ola significativa excedida 12 horas al año, $H_{a0,137}$, y su período significativo asociado, T_a , cuyos valores resultaron ser $H_{a0,137} = 3,0$ m; $T_a = 9,50$ s. Las rosas de oleaje se muestran en la figura 2.

5. PROPAGACIÓN DE OLAJE

El estudio de propagación de oleaje fue acometido con ayuda del modelo parabólico de refracción-difracción de oleaje BBFDIF². En él se introdujeron los datos de oleaje procedentes del estudio de clima marítimo en forma de frente uniforme de altura constante e igual a 1,00 m, con

² José María Grassa Garrido. Centro de Estudios de Puertos y Costas. Madrid. 1990.

Nº PERFIL	VARIACIÓN DE LÍNEA DE ORILLA (m)						LONG. (m)	VARIACIÓN DE SUPERFICIE (m²)					
	1957		1973		1977			1957		1973		1977	
	ABS	REL	ABS	REL	ABS	REL		ABS	REL	ABS	REL	ABS	REL
157	-22	-22	-32	-10	-44	-12	—	-11.700	-11.700	-11.880	-180	-18.900	-7.200
158	-11	-11	-29	-18	-37	-8	400	-2.070	-2.070	-9.540	-7.470	-20.790	-11.250
159	-42	-42	-29	13	-42	-13							
160	-4	-4	-26	-22	-75	-49							
161	4	4	-10	-14	-74	-64							
162	5	5	-28	-33	-60	-32	200	630	630	-4.770	-4.770	-10.080	-5.310
163	0	0	-37	-37	-37	0	100	-900	-900	-4.500	-3.600	-1.980	2.520
164	-16	-16	-49	-33	12	61							
165	-38	-38	-56	-18	-11	45	200						
166	-44	-44	-52	-8	-75	-23							
167	-53	-53	-52	1	-81	-29	200	-9.450	-9.450	-9.900	-450	-13.140	-3.240
168	-36	-36	-37	-1	-8	29	200	-6.570	-6.570	-5.760	810	-2.430	3.330
169	-34	-34	-30	4	12	42							
170	-28	-28	-21	7	-22	-1							
171	-25	-25	-16	9	-20	-4							
172	-28	-28	-12	16	-24	-12	400	-8.010	-8.010	-4.500	3.510	-6.750	-2.250
173	-26	-26	-13	13	-26	-13							
174	-26	-26	-15	11	-21	-6							
175	-27	-27	-20	7	-26	-6	200	-5.400	-5.400	-3.150	2.250	-4.950	-1.800
176	-26	-26	-15	11	-15	0							

TABLA 1. Evolución de la línea de orilla en la playa de Calahonda (Banco de datos del CEPYC).

objeto de obtener directamente en cada punto los coeficientes de refracción-difracción-shoaling, entendidos como la relación de alturas de ola en el punto considerado, H , a la altura de ola en profundidades indefinidas, H_0 , es decir, $C_{rd} = H/H_0$. La batimetría de los fondos produce una fuerte refracción del oleaje incidente, especialmente al propagarse sobre el escalón situado a cota -10. En las proximidades de la Punta de Carchuna finaliza a cota -60, para tomar de nuevo una pendiente suave. Conforme nos aproximamos al Cerro Gordo, el pie del escalón aumenta de cota hasta la -15. Esta especial configuración de la playa

sumergida hace que la oblicuidad en rotura de los temporales arribando a la costa sea muy similar y al mismo tiempo, reducida, lo que, como se verá más adelante, es una fuente de problemas en el presente caso. Las oblicuidades de arribada de los temporales estudiados se recogen en la tabla 2.

La propagación de la energía del oleaje se puede estudiar directamente en los planos de oleaje. La mayor concentración de líneas de nivel muestra puntos donde la energía es mayor. En base a ello se comprueba que existe una componente fuerte de transporte sólido litoral debido

FECHA VUELO	ESCALA	PASADA/FOTOGRAMA	ORGANISMO	HOJA DEL M.T.N.
18/III/1957	1: 33.000	36.517	S.G. EJÉRCITO	1.056
XII/73	1: 18.000	28/26.338	CEPYC	1.056
I/XIV/81	1: 12.000	36.861	CEPYC	1.056 [20-44]
VII/84	1: 4.000	2/739 a 742	R	1.056
9/IV/86	1: 18.000	EF/8	C.E.C.A.F. [E. ARE]	1.056
X/92	1: 15.000	2/7.017	R	1.056

TABLA 2. Fotografías aéreas verticales utilizadas.

TEMPORAL	PERIODO (S)	OBSCURIDAD (%)		DIRECCIÓN MEDIA DEL TRANSPORTE
		COSTA	PROF. INDEX.	
OESTE	16	15	68	CERRO GORDO
SUROESTE	16	15	23	CERRO GORDO
SUR	16	18	-22	CERRO GORDO
SURESTE	16	8	-67	CERRO GORDO
ESTE	16	-8	-112	PUNTA CARCHUNA

TABLA 3. Obscuridades aproximadas en rotura obtenidas del estudio de propagación de oleaje.

al gradiente de sobreelevación. Este hecho explica lo que se comenta en el apartado de estabilidad en planta de la playa según las teorías de Silvester sobre las espirales logarítmicas. En algunos puntos de la línea de orilla la componente de transporte por gradiente de sobreelevación se dirige hacia el mar, lo que ocurre mayormente durante la aparición de temporales de componente oeste, indicando que, cuando el oleaje posee cierta envergadura, existe una componente de transporte normal a la orilla que puede no ser despreciable. La figura 3 muestra la batimetría de la playa, tras un proceso de tratamiento informático mediante digitalización. En la figura 4 se muestra, a título de ejemplo, el plano de oleaje correspondiente al temporal suroeste $T = 16$ s, y en la figura 5, el temporal sureste $T = 16$ s. De la comparación de ambos temporales, tan diferentes en su dirección de propagación de origen, se desprende la similar obscuridad en la arribada a la costa. Las fuertes refracciones experimentadas en su propagación quedan patentes en ambos casos.

6. TRANSPORTE SÓLIDO

El cálculo del transporte sólido no puede acometerse en esta playa con los procedimientos empíricos habituales, debido al hecho de que dos de las premisas de partida, referentes a la granulometría del árido y al carácter de rectilínea y paralela que debe tener la batimetría, no se cumplen.

El transporte sólido real habido en la playa se puede calcular a partir de la ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = (1-n)d_t \frac{\partial y}{\partial t}$$

en la que Q es el transporte sólido litoral, x , la coordenada longitudinal, n , la porosidad del material, y , la coordenada transversal, d_t , la profundidad dinámica (aquella que supone el límite de la zona donde se verifican los procesos de transporte) y t el tiempo a que se extiende el cálculo.

Integrando esta ecuación con la suposición de que $Q = Q(x)$, se tiene:

$$\int_1^{i+1} dQ = \int_0^L (1-n)d_t \frac{\Delta y}{\Delta t} dy$$

Dividiendo en N celdas de longitud unitaria L la playa (teniendo en cuenta que la superficie de playa que se gana o se pierde en el tiempo t es $\Delta S = \Delta y \cdot L$ y expresando la ecuación de continuidad en términos de diferencias finitas en la celda i -ésima, se tiene:

$$Q_{i+1} = Q_i + \frac{\Delta S}{\Delta t} d_t (1-n)$$

Así, se obtiene un sistema de N ecuaciones con $N+1$ incógnitas. La condición de contorno $Q_1 = 0$ (suponer que el Cancho Gerdo constituye una barrera total) equilibra el sistema.

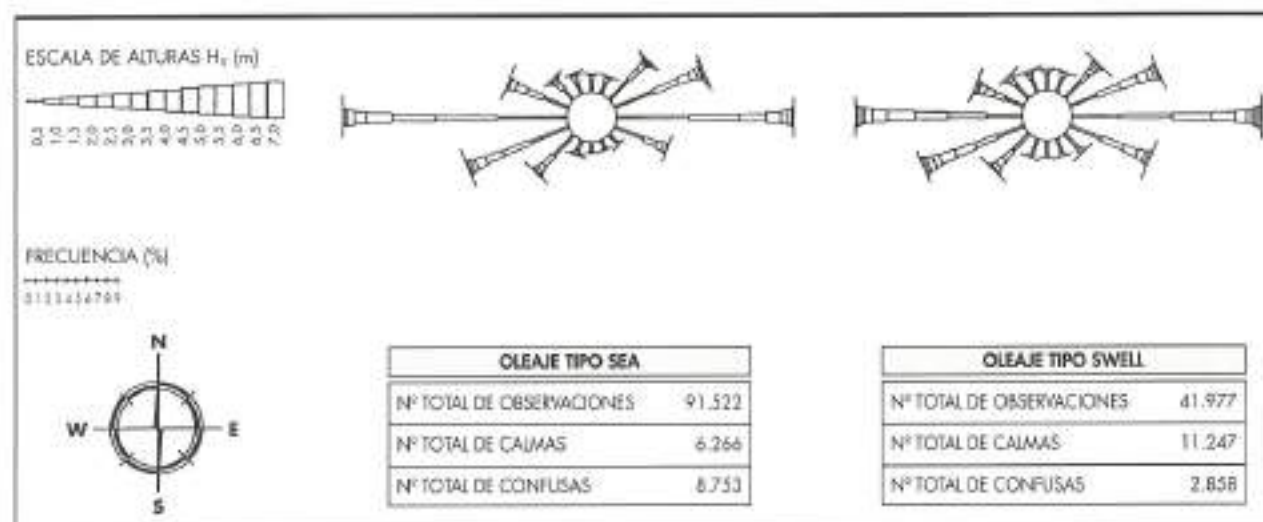


FIGURA 2. Rosas de oleaje.

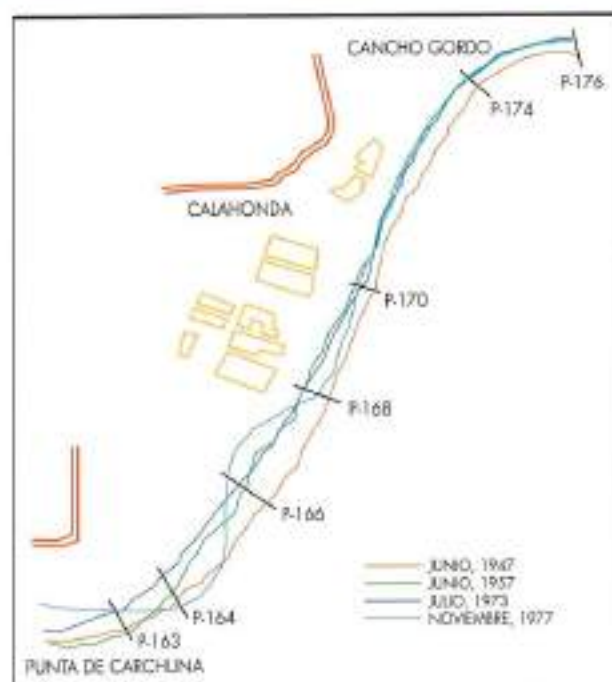


FIGURA 14. Evolución de la línea de orilla entre 1947 y 1977.

7. ESTABILIDAD EN PLANTA

Para la comprobación de la estabilidad en planta se utilizaron los métodos del arco y de la relación de indentación. El método de la regresión lineal se utilizó en este caso para ajustar una espiral logarítmica de ángulo $\phi = 65,51^\circ$ con un

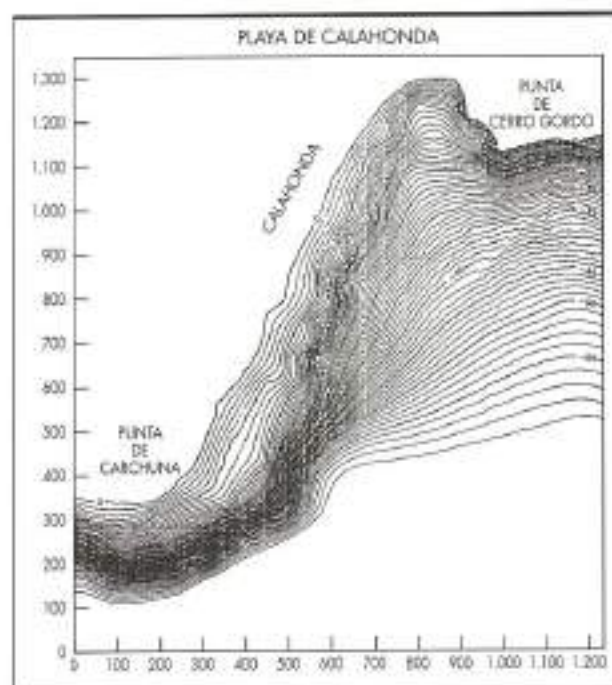
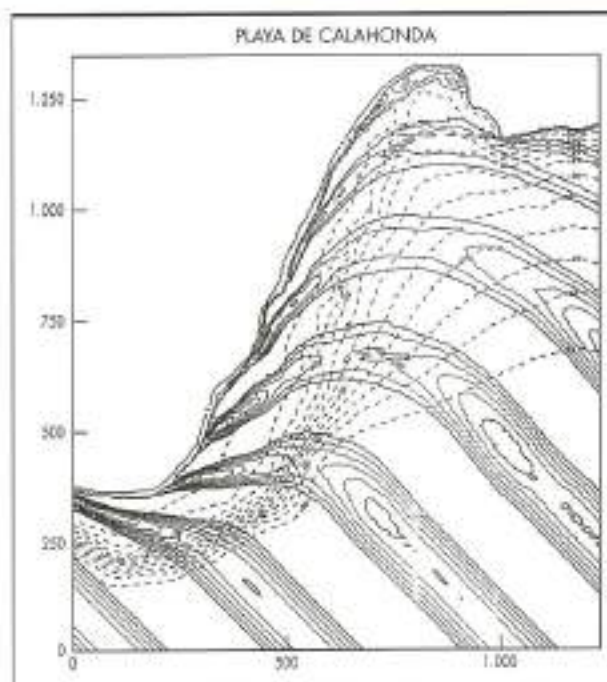
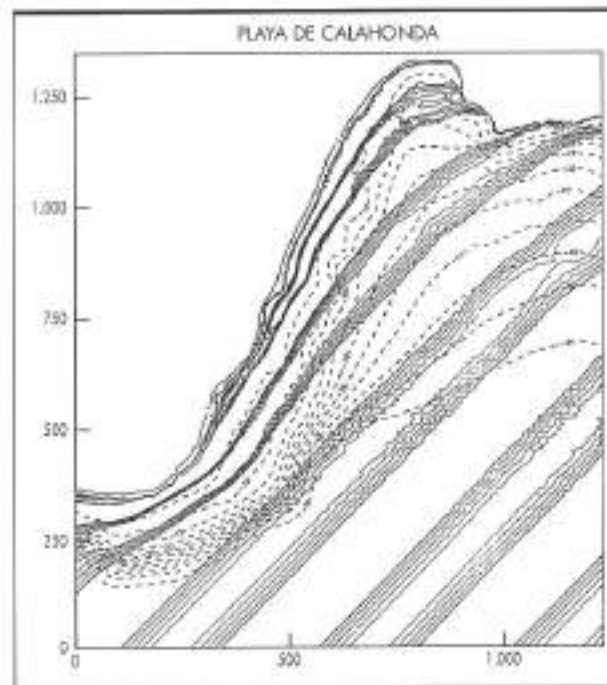


FIGURA 3. Batimetría digitalizada.

FIGURA 4. Temporal SO, $T = 16$ s.

coeficiente de correlación $r = 0,997$. Para ello se utilizó el modelo matemático "SPIRAL"².

² José María Medina Villaverde, Centro de Estudios de Puertos y Costas, Madrid, 1992.

FIGURA 5. Temporal SE, $T = 16$ s.

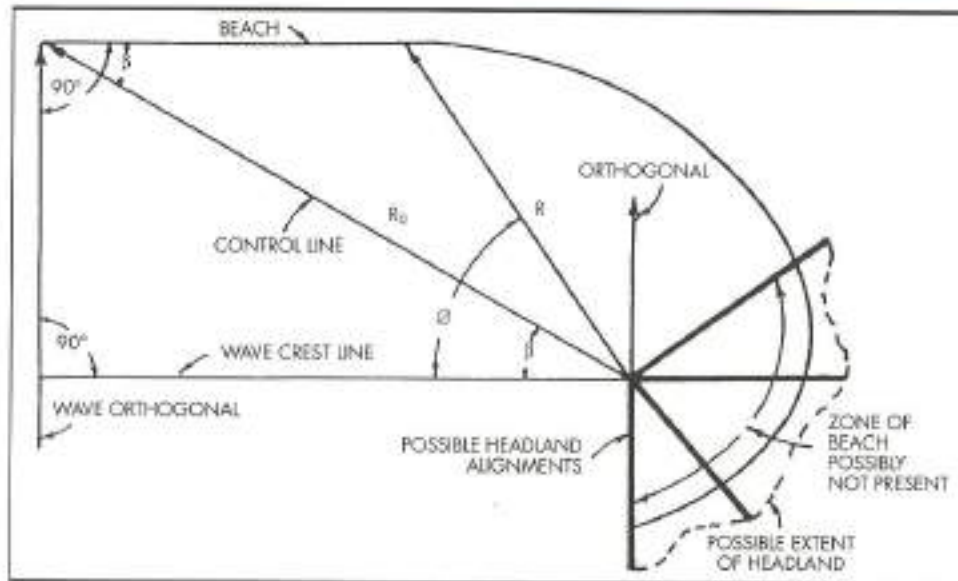


FIGURA 6. Parámetros que definen la bahía.

Método del arco. Basado en los parámetros representados en la figura 6, el método del arco fue propuesto por Silvester. Los parámetros fueron medidos directamente sobre la carta náutica, resultando ser: $\theta = 58,5^\circ$; $\beta = 19,5^\circ$; $R = 400$ m y $R_0 = 1.100$ m. En la figura 7 se encuentran representados y scotados todos los parámetros. Se obtiene así una relación

$R/R_0 = 0,3636$. Entrando en el ábaco (figura 8) con este valor y $\theta = 58^\circ$ (es difícil afinar los valores, lo que, por otra parte, no tiene mucho sentido, al tratarse de un método empírico y de naturaleza estadística), se obtiene un valor de equilibrio $\beta = 18^\circ$ que, como se ve, está muy próximo al real. Por tanto, el criterio del arco da un resultado favorable a la estabilidad en planta.

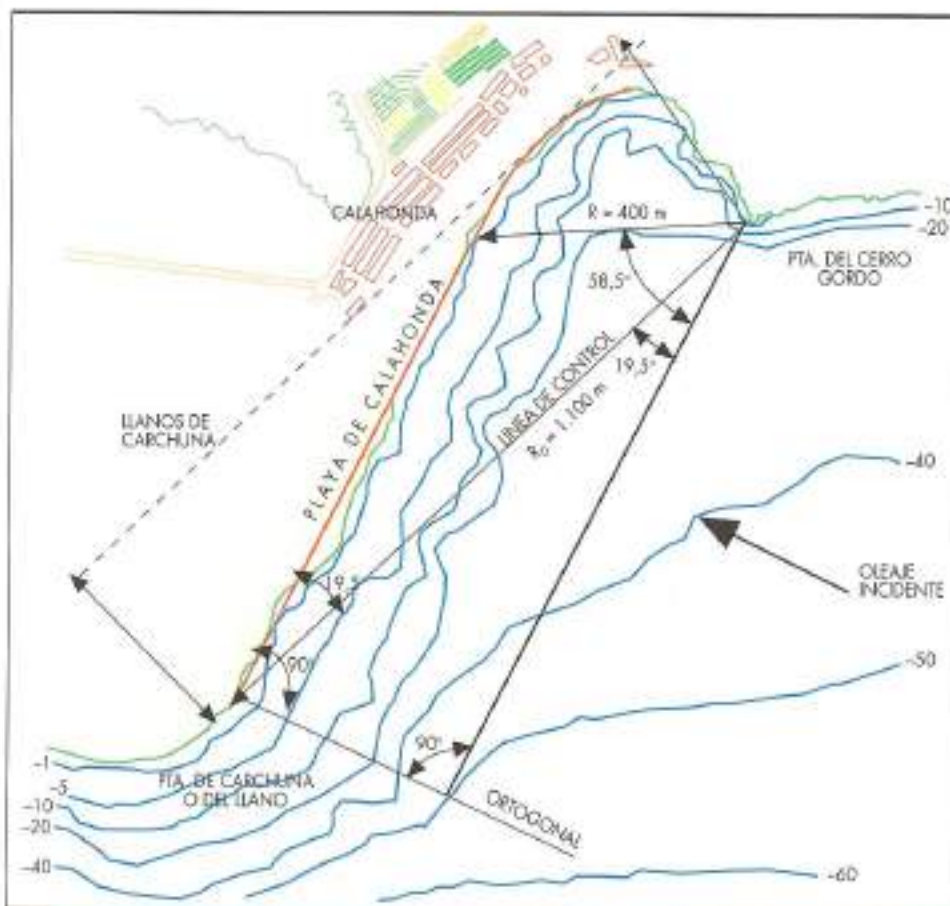
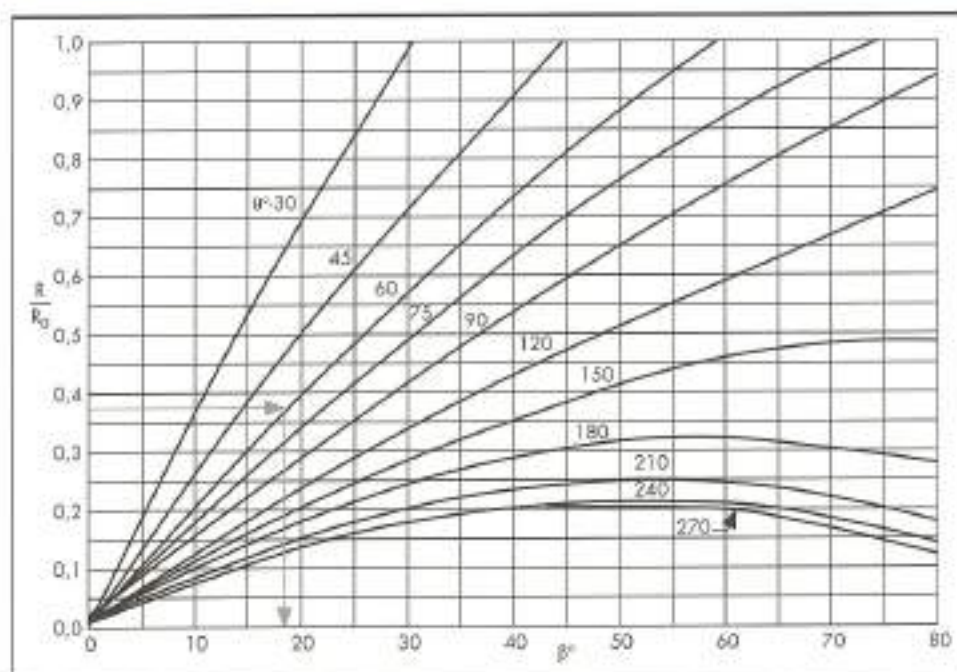


FIGURA 7. Cuantificación de los parámetros.

FIGURA 8. R/R_0 vs. β para θ variable.

Método de la relación de indentación. Se entiende por indentación la máxima distancia desde el polo de difracción a la línea de orilla, medida sobre la línea de control. El método consiste en encontrar la relación de la indentación máxima a la longitud de la línea de control. Esta relación es función del ángulo β . Esta función es la siguiente:

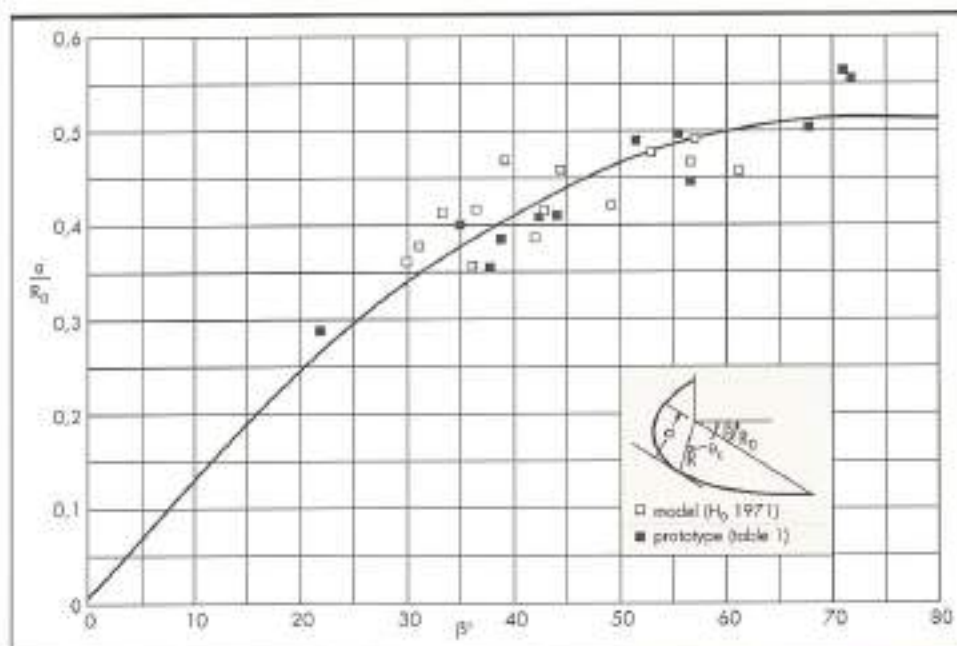
$$\frac{a}{R_0} = 1,4 \cdot 10^{-2} \beta - 9,4 \cdot 10^{-5} \beta^2$$

Esta función da una curva, representada en la figura 9, que indica la situación de equilibrio de la bahía. Calculada la relación de indentación, la playa evolucionará con el

tiempo hasta alcanzar un punto próximo a la curva. En el caso de Calahonda, dado que $a = 300$ m (medido sobre la carta náutica), se obtiene un valor (medido) $a/R_0 = 0,273$, en tanto que la función proporciona un valor $a/R_0 = 0,237$, que como puede comprobarse, se encuentra dentro de los límites de tolerancia. Por tanto, la bahía tiene un grado de estabilidad en planta suficientemente alto.

8. ESTUDIO DEL PERFIL DE PLAYA

El primer punto en el estudio del perfil de playa lo constituyó la zonificación del mismo. Para ello se empleó la teoría de Hallermeier - Birkemeier, según la cual existen dos profundida-

FIGURA 9. Relación de indentación (a/R_0) vs. oblicuidad β .

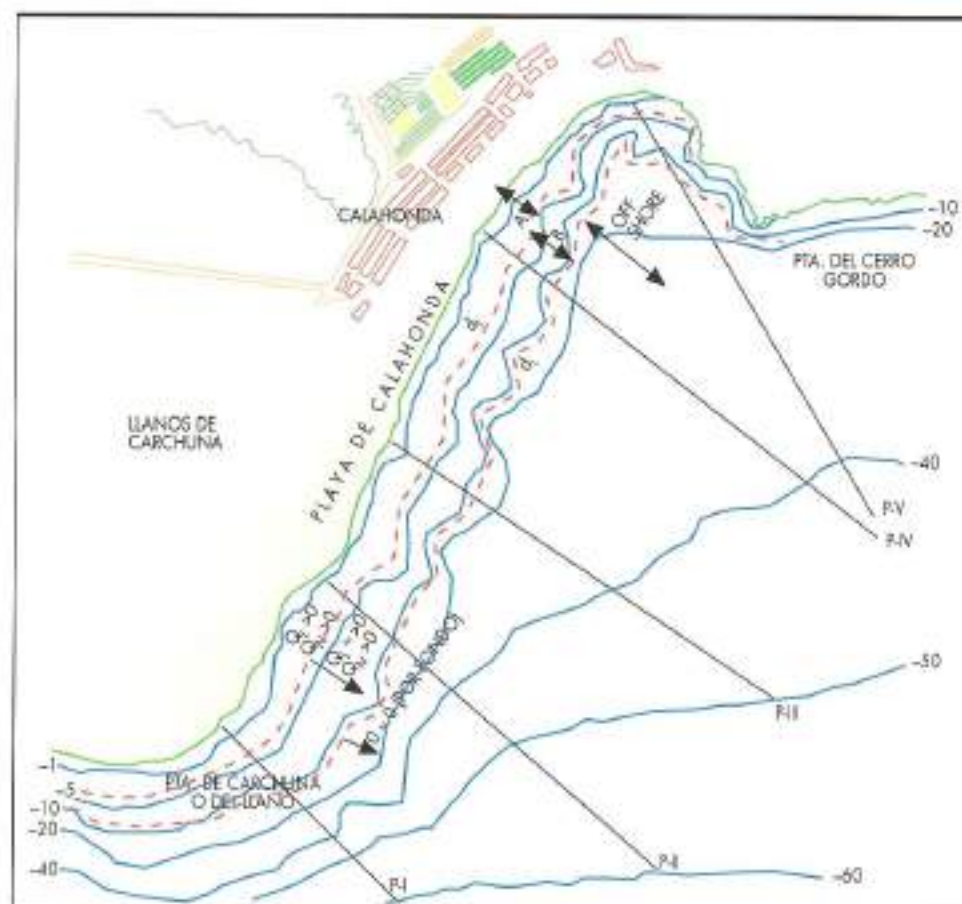


FIGURA 10. Zonificación y localización de los perfiles de playa.

des críticas, d_1 y d_2 que verifican lo siguiente: en un punto, de profundidad d , el transporte sólido es significativo, tanto en dirección longitudinal como normal a la orilla, siempre y cuando $0 > d > d_1$ (zona A en la figura 10). Cuando se avanza en el perfil, en los casos en que $d_1 > d > d_2$ el transporte longitudinal se hace despreciable, para tomar relevancia solo en el normal; ello tiene lugar en la zona B representada en la figura 10. Cuando $d > d_2$ puede afirmarse que prácticamente no existe transporte sólido. Esta es la zona *offshore*, representada asimismo en la figura 10. Los transportes longitudinal y normal están representados en dicha figura mediante los símbolos Q_L y Q_N , respectivamente. Las figuras 12 y 13 muestran los cinco perfiles transversales con su zonificación, a los que se ha superpuesto el perfil de equilibrio de Dean, particularizado su parámetro para el material nativo de la playa.

Esta zonificación es de naturaleza estadística, no pudiendo asegurarse que durante un determinado temporal esto se cumpla a rajatabla.

Ambas profundidades vienen dadas por las expresiones:

$$d_1 = 2,28H_{0,137} - 68,5 \left(\frac{H_{0,137}^2}{gT_0^2} \right)$$

$$\frac{2md_2}{L} = \operatorname{arcsinh} \left(\frac{\pi H_{0,00}}{T \sqrt{8gD}} \right)$$

En las expresiones anteriores las profundidades se entienden tomadas a partir de la bajamar viva equinoccial (BMVE); los parámetros utilizados son:

$H_{0,137}$: Altura de ola significativa excedida 12 horas al año ($P = 0,137\%$).

T_0 : Período significativo asociado con $H_{0,137}$.

L : Longitud de onda.

$H_{0,99}$: Altura de ola significativa media anual.

T : Período medio asociado con $H_{0,99}$.

D : Diámetro medio de las partículas.

A : Densidad específica de las partículas en el agua del mar ($\approx 1,6$).

La ecuación que proporciona el valor d_2 es complicada de resolver, al tener que implicar el cálculo iterativo de la longitud de onda en cada iteración de profundidad. Por ello, esta expresión suele aproximarse con buenos resultados por la siguiente, más sencilla de aplicar: $d_2 = 3,5 H_{0,137}$, que es la utilizada en este caso.

El material que compone la playa de Calahonda es grava cuyo diámetro medio se sitúa en torno a los 6,0 mm (foto 6). Con estas premisas se obtuvo la zonificación siguiente: $d_1 = 6,14$ m, $d_2 = 12,28$ m. Este material suele dar playas con fuertes pendientes (como en el presente caso) y por tanto, con problemas de reflectividad.

Por esta razón, es imposible que se forme una flecha litoral a sotamar de la Punta de Carchuna, como habría ocurrido en un caso general, debido a que el material que trata de evolucionar en este sentido es por el talud, cuya coronación se sitúa a cota -10, quedando rápidamente a

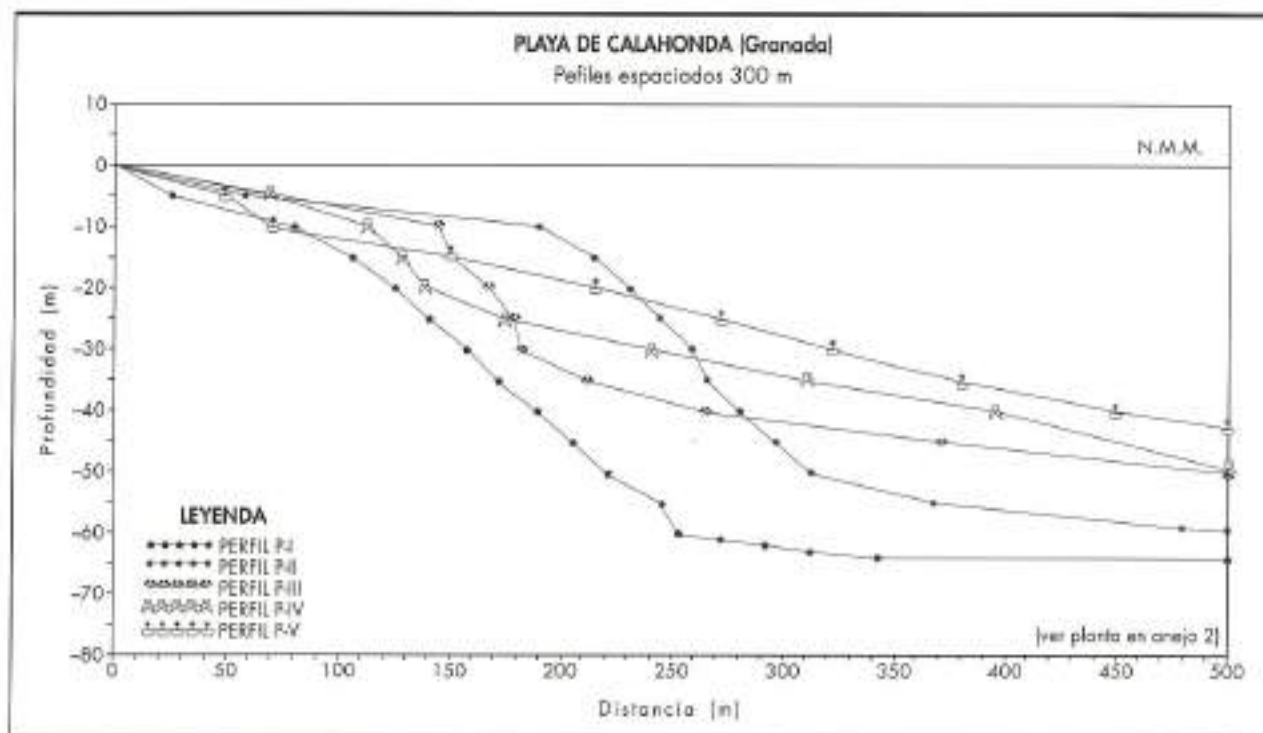


FIGURA 11. Perfiles superpuestos. Comparación.

una profundidad mayor de d_1 , y por tanto, fuera del alcance del oleaje.

9. REFLECTIVIDAD Y RESONANCIA CON ONDAS DE ORILLA

Las condiciones de reflectividad de la playa se pueden evaluar por medio del parámetro ϵ_1 , cuya formulación es la siguiente:

$$\epsilon_1 = \frac{a_i \omega_i^2}{g \tan^2 \beta}$$

donde son:

a_i : amplitud del oleaje incidente

ω_i : frecuencia angular del oleaje incidente $\left(\omega = \frac{2\pi}{T} \right)$

$\tan \beta$: pendiente de la playa

Para que se den condiciones de excitación subarmónica de las ondas de orilla, es preciso que se cumplan las condiciones $\epsilon_1 > 2,4$ y $a_i \geq 0,8$ (Guza & Davis, 1974). Para el caso de régimen medio de oleaje en la Punta de Carchuna se obtuvieron los valores siguientes:

$$a_i = 0,80 \text{ m}, \omega_i = 2\pi/6 = 1,047 \text{ s}^{-1}, \tan \beta = 0,24 \rightarrow \epsilon_1 = 1,554 < 2,4$$

Se tienen, por tanto, las condiciones precisas para resonancia subarmónica entre el oleaje incidente y las ondas de orilla, y por tanto, para la formación *beach cusps*. La foto 1 muestra estas formaciones en la cercana playa de Carchuna, donde las condiciones son similares, en tanto que en la foto 2 puede comprobarse la existencia de estas formaciones en el extremo sur de la playa de Calahonda, enmascaradas por encontrarse cerca la Punta de Carchuna, imposibilitando su continuidad.

A lo largo de la playa, desde la Punta de Carchuna al Cerro Gordo, la pendiente submarina disminuye, y por tanto, también las condiciones de reflectividad, como se puede comprobar en la tabla 4, al aumentar el parámetro ϵ_1 por encima del valor límite 2,4 a partir del perfil P-II (ver figura 10).



FOTO 6. Árido que forma la playa.

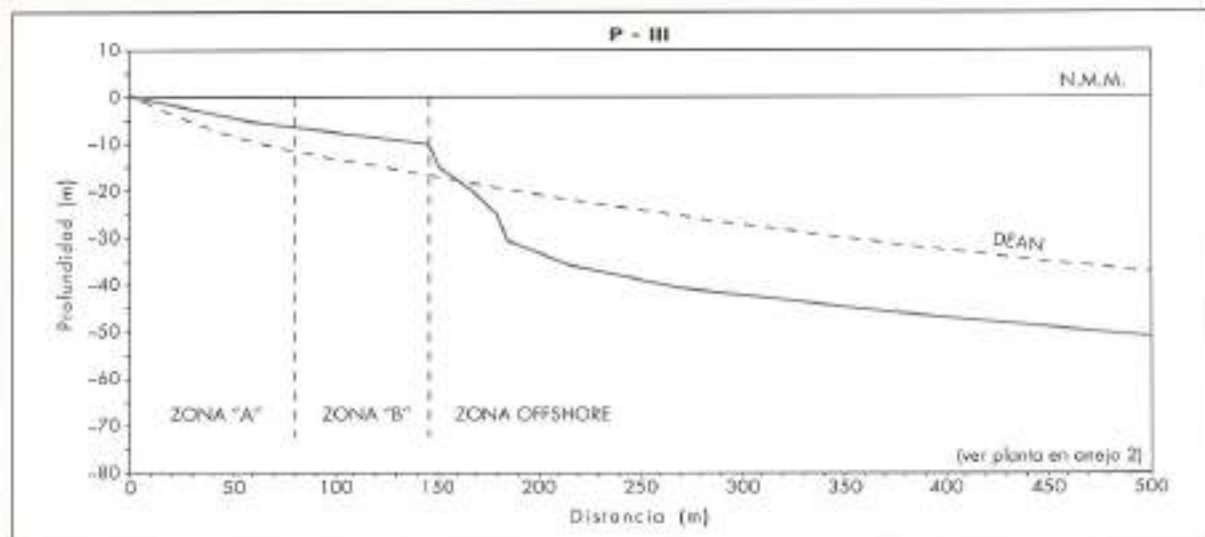
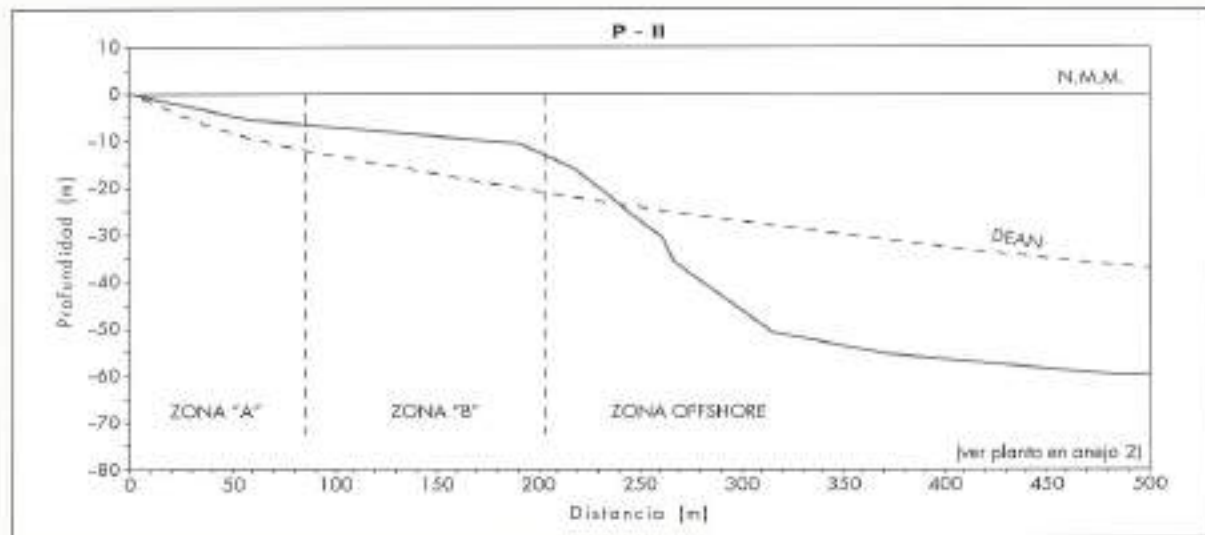
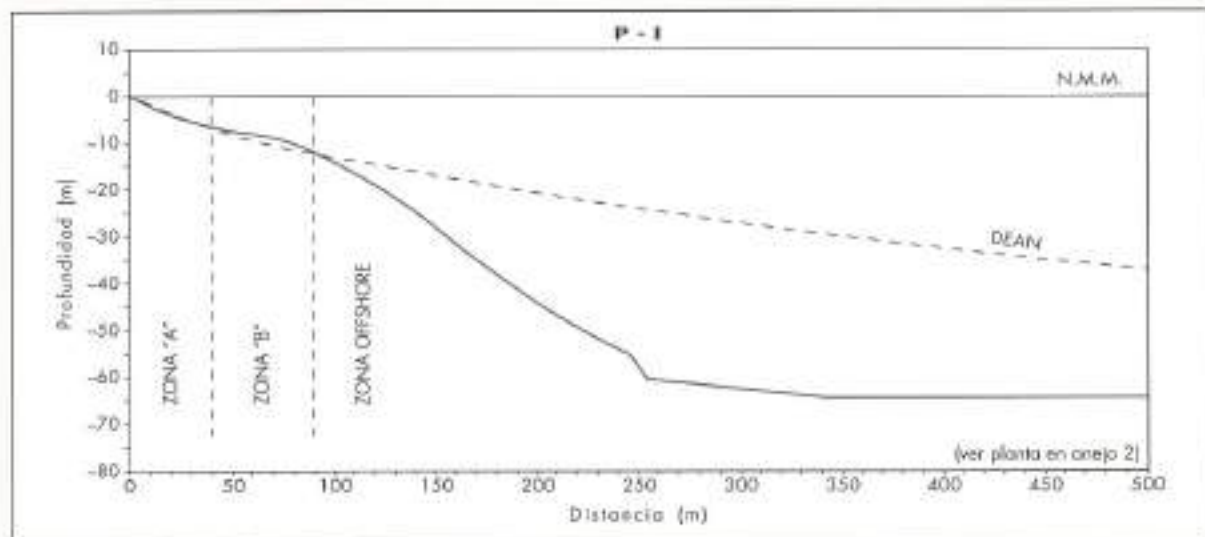


FIGURA 12. Perfiles transversales.

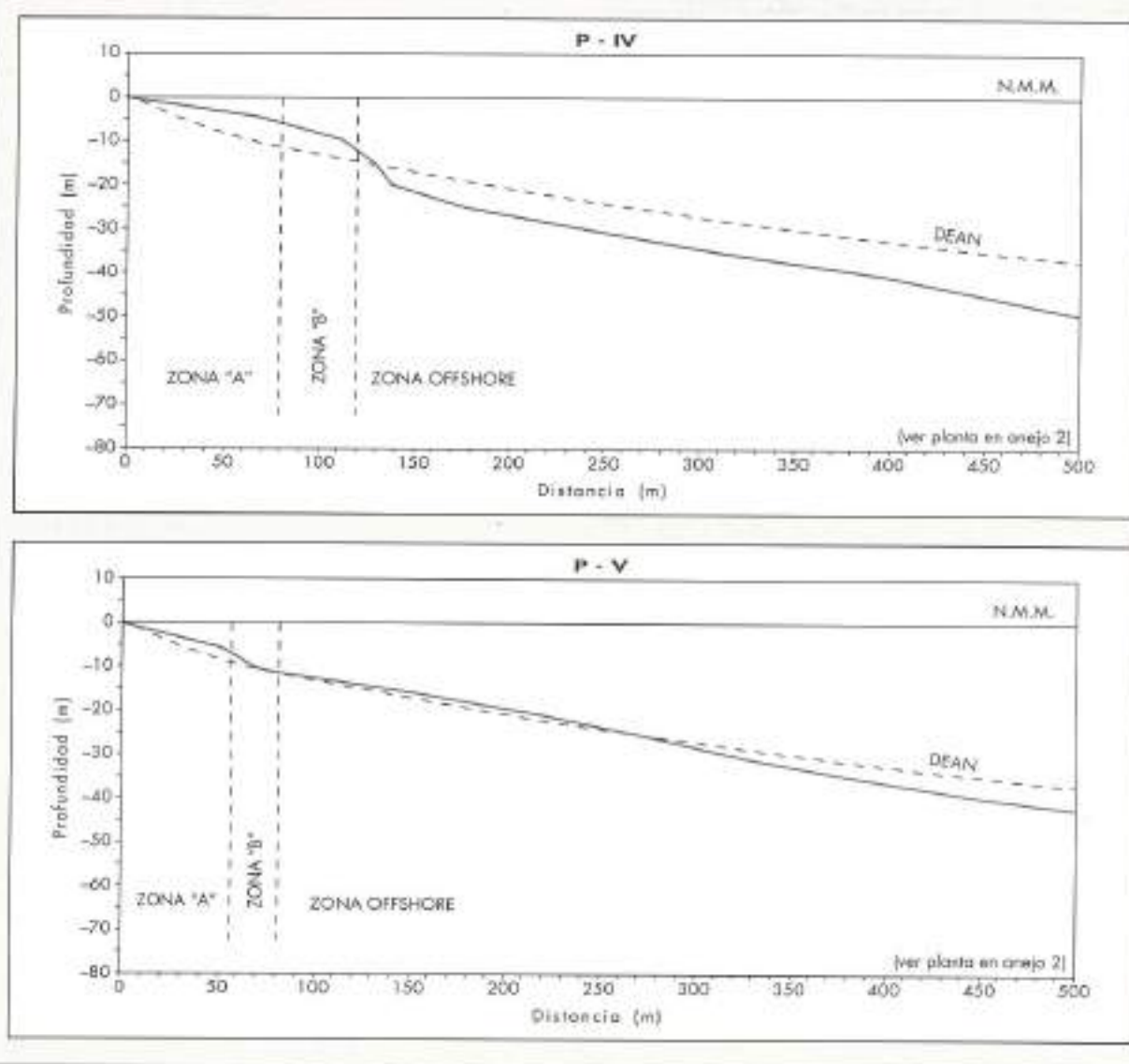


FIGURA 13. Perfiles transversales.

10. APARICIÓN DE BEACH CUSPS

La frecuencia de las ondas de orilla sigue la ley de dispersión para los distintos modos: $\omega^2 = g \cdot k (2n + 1) \cdot \tan \beta$, donde ω es la frecuencia angular de las ondas de orilla, k , el número de onda en la dirección longitudinal de la playa y n el modo de la onda de orilla. Para $n = 0$, y dado que el número de onda es $k = 2\pi/\lambda$ (función de la longitud de onda), se tendrá:

$$\omega^2 = g \frac{2\pi}{\lambda} \tan \beta$$

PERFIL	P-I	P-II	P-III	P-IV	P-V
$\tan \beta$	0,24	0,161	0,167	0,148	0,086
ε_s	1,554	3,452	3,209	4,085	12,099

TABLA 4. Evolución de las condiciones de reflectividad en la playa de Calahonda.

Así, para diferentes longitudes de onda y pendiente de la playa $\tan \beta = 0,24$, se obtienen los valores indicados en la tabla 5. En ella, ω es la frecuencia de la onda de orilla,

λ (m)	k	ω (s ⁻²)	ω_s (s ⁻²)	T (s)
100	0,063	0,403	0,806	7,80
150	0,042	0,314	0,628	10,01
200	0,031	0,272	0,544	11,55
250	0,025	0,242	0,484	12,98
300	0,021	0,206	0,412	15,25
350	0,018	0,190	0,380	16,54

TABLA 5. Cálculo de los periodos del oleaje incidente que pueden entrar en resonancia.



FOTO 2. Fotografía aérea vertical de la playa de Calahonda. Año 1986.

ω , la del oleaje incidente susceptible de entrar en resonancia con las ondas de orilla y λ la longitud de onda de estas.

Así, midiendo sobre el terreno la longitud de onda de los beach cusps puede conocerse el número de onda, k , a partir del cual, mediante la relación de dispersión, se halla la frecuencia angular ω . La condición de excitación subarmónica implica que la frecuencia angular ω , del oleaje incidente sea doble de la de las ondas de orilla, con lo cual se tiene la 4ª columna. Finalmente, se obtiene el período T susceptible de provocar resonancia, si se dan el resto de las condiciones

(amplitud, reflectividad y aproximación del frente de oleaje paralelo a la costa).

La observación de la tabla 5 permite comprobar como los oleajes que en el punto de pendiente indicada pueden entrar en resonancia con facilidad, dada la cuantía completamente normal del período que se requiere.

Si se repite el cálculo con pendientes menores (las que se van dando hacia el Cancho Gordo), se comprueba como los períodos requeridos van siendo mayores, lo que va dificultando la aparición de este fenómeno.

Lo obtenido en el cálculo concuerda fielmente con lo observado en la naturaleza.

En las fotografías 3 y 4 se puede observar la formación de beach cusps en las proximidades de la Punta de Carchuna (al final de la alineación de playa), amenazando a la edificación (realmente es la edificación quien amenaza a la playa). La fotografía 5 muestra la Punta de Carchuna con los cusps.

11. DELIMITACIÓN DE CAUSAS QUE GENERAN INESTABILIDAD

La actividad urbanística permitió la construcción de la primera fila de chalets excesivamente cerca de la línea de orilla, destruyendo completamente la duna (o trasplaya).

Existen varios condicionantes en la playa:

1. El cambio natural de perfil, de verano a invierno.
2. Las altas condiciones de reflectividad del perfil transversal de la playa, que facilitan la aparición de beach cusps.
3. La altísima pendiente del perfil transversal submarino (cerca de un 36%), acelera la pérdida de material granular, al ponerlo, por gravedad, fuera de la acción del oleaje.
4. La Punta de Carchuna es una forma completamente libre, en la que la playa no puede apoyarse.

Debido a ello, el movimiento natural de la línea de orilla en la playa de Calahonda suele tener una amplitud respetable, lo que la actividad urbanística no tomó en consideración.



FOTO 3. Cusps próximos a la Punta de Carchuna.



FOTO 4. Cusps próximas a la Punta de Carchuna.



FOTO 5. Punta de Carchuna

El resultado:

1. Lenta destrucción de la playa.
2. Incremento de los riesgos naturales que sufren los edificios situados en primera línea de costa.

La figura 16 muestra la zona de la playa de Calahonda que ha de considerarse como potencialmente en peligro y que, por tanto, debe protegerse de actuaciones indiscriminadas.

12. AGRADECIMIENTOS

En el desarrollo de los estudios que en el presente artículo se resumen fue de gran ayuda la colaboración prestada por **D. Antonio Lechuga Alvaro**, Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Jefe del Sector de Costas del CEPYC, gran investigador y conocedor de la dinámica de las ondas de orilla, en todo lo referente a su estudio, así como la de **D. Severiano Benavides Rodríguez**, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Jefe del Servicio de Costas de Granada, al proveer de forma rápida y eficaz toda la documentación



FIGURA 15. Zona de vigilancia recomendada. Se indica la zona peligrosa, candidata a sufrir fenómenos de resonancia debido a sus condiciones de reflectividad. Se indica asimismo la delimitación aproximada de la forma libre.

de campo necesaria. Los dibujos que aparecen en el artículo fueron realizados por D. Carlos Redondo Morejón de Giron, Delineante del CEPYC. A todos ellos desea expresar el autor su agradecimiento.

13. REFERENCIAS

1. CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS. *Estudio de la dinámica litoral en la costa peninsular mediterránea y onubense*. Madrid, 1979.
2. DEAN, R.G. *Beach Profiles*. Handbook of Coastal and Ocean Engineering, Chapter 12. T. Herbich.
3. GUZA, R.T. and DAVIS, R.E. *Excitation of edge waves by waves incident on a beach*. Journal of Geophysical Research 79, pp 1.285-1.291, 1974.
4. LECHUGA ALVARO, A. *Formas rítmicas en playas: su relación con la evolución costera*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Cuadernos de Investigación C17, Madrid, 1986.
5. LECHUGA ALVARO, A. *Resonancia en playas*. Revista de Obras Públicas. Febrero, 1985. pp 97-106.
6. MEDINA VILLAYERDE, J. M^o. *Documentación del modelo SPIRAL*. Centro de Estudios de Puertos y Costas. Madrid, 1992.
7. MEDINA VILLAYERDE, J. M^o. *Dinámica litoral de la playa de Calahonda (Granada)*. CEDEX, 1993.
8. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES. *Recomendaciones para obras marítimas R.O.M. 0.3-91. OLEAJE. Anejo I. Clima marítimo en el litoral español*. Dirección General de Puertos. Madrid, 1992.
9. ORTIZ ROSSINI, P. *Métodos numéricos en propagación de ondas superficiales: teoría del potencial*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Cuadernos de Investigación C29. Madrid, 1992.
10. PEÑA OLIVAS, J.M. de la. *Estudio de la dinámica litoral y evolución del delta del Guadalfeo*. Centro de Estudios de Puertos y Costas. Madrid, 1993.
11. SILVESTER, R. *Natural shaping of bays*. Marine foundations and sediment processes. Chapter 15.
12. SILVESTER, R. *Coastal Engineering*, 2. Elsevier. Amsterdam, 1974.
13. SUÁREZ BORES, P. *Formas costeras*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, 1980.
14. ZENKOVICH, V.P. *Processes of Coastal Development*. Oliver & Boyd. London, 1967.

GARANTIA **Dragados**



Presa Pontón Alto. La Granja, Segovia



Dique y Regeneración Playa de Zurriola.
San Sebastián



Tecnología ecológica.



Vista general de la depuradora de Cervezas El Aguila. (Valencia)

Tecnología al servicio de la ecología. La fórmula ideal para el tratamiento de aguas. La que CADAGUA exige en todos sus proyectos e instalaciones.

Con 20 años de experiencia. Mejorando día a día. Incorporando nuevas técnicas y procesos de depuración. Gestionando y manteniendo las más modernas instalaciones. Y siempre, desde un profundo respeto al medio ambiente.

Potables, residuales, industriales o salobres, CADAGUA tiene la fórmula. La solución ecológica para el tratamiento de aguas.



Soluciones para el tratamiento de aguas

Príncipe de Vergara, 15. 28001 Madrid. Tef.: 91-577 66 96/7/8 - Fax: 91-576 24 94