

# LA VARIABILIDAD DE LOS PERFILES DE PLAYA. PERFILES DE VERANO E INVIERNO. ANALISIS HISTORICO (Primera parte)

VICENTE NEGRO VALDECANTOS (\*)

**RESUMEN.** El desarrollo de las diferentes tipologías de perfil de playa ante la acción del oleaje ha sido objeto de múltiples y variadas investigaciones a lo largo de los últimos años. Muchas de ellas estaban destinadas a la obtención del perfil morfodinámico de equilibrio, si bien debe considerarse previa la transformación berma-barra, verano-invierno, reflejante-disipativo y la interacción entre los agentes del Clima Marítimo y las características de la partícula sedimentaria. Este estudio tiene por objeto analizar los criterios de evaluación de las variaciones del perfil de equilibrio, para proponer posteriormente un método para determinar las transformaciones naturales del perfil.

**ABSTRACT.** *In the past decades much research has been done on the development of coastal profiles under wave attack. Mostly this research was directed to equilibrium profiles, by which certain features of the profile were related to the wave conditions and sediment characteristics. In this respect much attention was paid to the type of profile that developed and a distinction was made between bar profiles and step profiles. It is noted that bar profiles are identified with eroded profiles, and also called winter or storm profiles, and the step with accreted profiles or summer ones. This study is a review during the last decades of the research of coastal profiles under wave attack.*

## 1. INTRODUCCION

Existen dos situaciones características de interferencia entre el Clima Marítimo y, más concretamente, el oleaje y la partícula sedimentaria. Este hecho ha sido contrastado tanto en la naturaleza como a partir de resultados experimentales obtenidos en laboratorio.

Siguiendo las conclusiones de Johnson a partir de ensayos en modelo reducido y canal de laboratorio, el comportamiento de una línea de costa ante situaciones  $H$ , altura de ola y  $T$ , período, es muy distinto en cuanto a su intensidad y granulometría de la muestra arenosa.

Si se supone un tren de ondas de reducida altura de ola y período amplio, se observa una acumulación natural de arena formando una berma que provoca la reflexión del oleaje, provocando un perfil reflejante, en berma o de verano.

La situación varía de forma notable ante el hecho de

alturas de ola grandes y períodos reducidos, donde el perfil se erosiona actuando la naturaleza como un mecanismo de defensa, ya que se acumula arena por debajo del nivel medio formando una barra de protección del perfil. Esto reduce la acción erosiva, alcanzando un perfil de erosión, temporal o de invierno, o un perfil disipativo (figura 1).

Ambas formas de equilibrio dependen de las condiciones  $H, T$  de un tren de ondas. Admitida la variación natural del perfil, a lo largo del tiempo, los investigadores han intentado en función de diferentes variables y ensayos la matematización del mencionado proceso natural.

Con esta referencia, hay que tener presente que los perfiles en barra se identifican con situaciones erosivas y los perfiles en berma en situaciones acumulativas. Esto significa que la naturaleza responde disipando energía en períodos cortos de temporal y transporte offshore de sedimentos, mientras que la respuesta reflejante se produce lentamente para condiciones moderadas de clima y balance onshore de sedimentos.

(\*) Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Madrid.

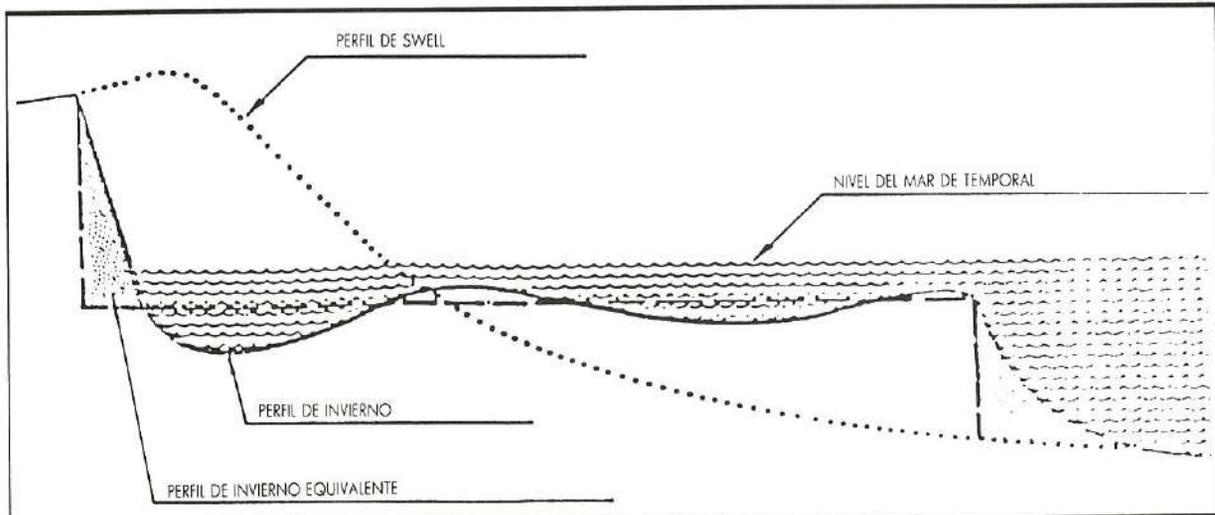


FIGURA 1. Variaciones estacionales del perfil de playa.

## 2. ANALISIS HISTORICO

Algunos investigadores han identificado el peralte de la onda en profundidades indefinidas ( $H_0/L_0$ ) como un parámetro importante en la clasificación del perfil. Waters (1939) realizó una serie de ensayos que le facilitaron la conclusión de los valores críticos de variación entre 0,020 y 0,030, existiendo perfiles en barra para condiciones de peralte más altas.

Con esta referencia y los ensayos en modelo reducido realizados por Meyer en 1936, Johnson (1949), definió el siguiente criterio para la variación natural del perfil:

$H_0/L_0 < 0,025$  Perfil de verano, berma, reflejante  
 $H_0/L_0 > 0,030$  Perfil de invierno, temporal, barra

Los valores comprendidos entre 0,025 y 0,030 representan la zona de transición y la dificultad de representar el perfil que existe. Estos ensayos se desarrollaron en condiciones de oleaje regular y nivel medio de agua del mar.

En 1954, Wats y Dearduff observaron que las variaciones de niveles influían poderosamente en el desarrollo del perfil, de manera que con determinadas condiciones granulométricas y niveles medios se producían diferentes tipos de perfiles que con variaciones de nivel y período. En el mismo año, Rector puso de manifiesto la importancia de productos adimensionales consistentes en caracteres de Clima Marítimo y parámetro del sedimento, encaminándose a relaciones  $H_0/D_{50}$ , y de  $L_0/D_{50}$ , siendo  $D_{50}$  el diámetro medio de la partícula.

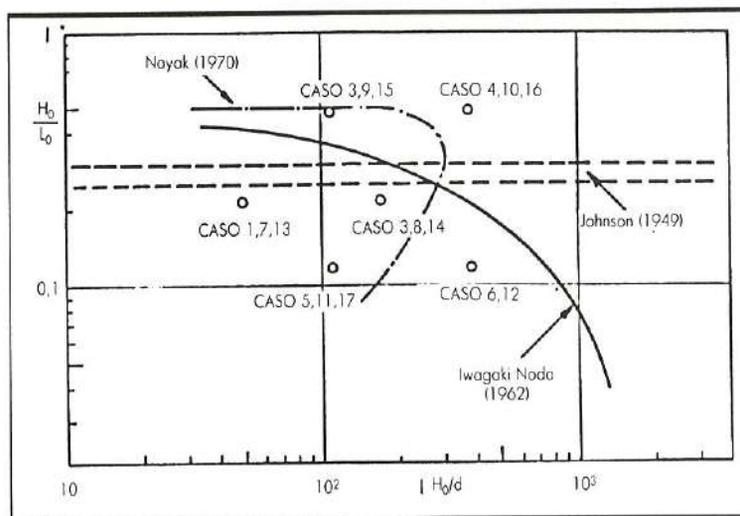


FIGURA 2. Criterios de comparación de perfiles berma/barra.

Saville (1957) hizo notar con escalas grandes de ensayo que se formaban perfiles de invierno con valores de peralte 0,025 que contrastaba con la teoría de Johnson de 1949 y 1952 (figura 2).

Con esta primera serie histórica de criterios, se pone de manifiesto que en el litoral, los procesos exogenéticos son particularmente activos, siendo el oleaje su principal causante. Asimismo, las modificaciones del relieve pueden ser notables en cuestión de horas ante un oleaje de marcado temporal. Este fenómeno, por tanto, bien conocido se forma por la variación onshore-offshore de la línea de orilla y está condicionada por el transporte transversal de sedimentos.

Tras las primeras investigaciones, el perfil que se forma debido al transporte intenso hacia el mar reúne las principales características:

1. Zona de rompiente, amplia, pendiente escasa y forma cóncava.
2. Berma baja.
3. Barra intermedia o zona de acumulación de sedimentos. Se produce entre el estrán y la rotura.
4. Barra profunda o zona límite del transporte de sedimentos.
5. Retroceso de la línea de orilla como consecuencia de la basculación natural de la partícula sedimentaria.

El segundo condicionante es el oleaje de swell que constituye el proceso de reconstrucción de la playa, caracterizado por un transporte onshore y tiempo de respuesta lento, superando incluso los varios meses. La constitución típica de la playa sería:

1. Zona de rompiente estrecha y pendiente elevada.
2. Berma alta acumulativa formada por material transportado onshore.

El fenómeno fue estudiado de manera completa a partir de 1962, cuando se demostró que los criterios anteriores tenían un marco de validez reducido y corre-

lacionado con el parámetro  $H_0/D_{50}$ . En ese año, Iwagaki y Noda revisaron los ensayos de Johnson y Rector, concluyendo a partir de una serie superior de experimentaciones que las barras se formaban como función de los productos  $H_0/L_0$  y  $H_0/D_{50}$  y con los valores siguientes:

$$\begin{aligned} H_0/L_0 &= 0,025 & H_0/D_{50} &< 300 \\ H_0/L_0 &= 0,010 & H_0/D_{50} &> 1000 \end{aligned}$$

(Figura 3).

Relacionando diferentes condiciones de Clima Marítimo y variables sedimentarias, Sitarz establece el criterio de formación de perfil reflejante y disipativo para parámetros,  $H$ ,  $T$ ,  $g$ , y  $D$ . El condicionante de cálculo es el siguiente:

$$\frac{H}{T \sqrt{g(S-1)D}} \begin{cases} < 0,6 \text{ Berma} \\ > 0,6 \text{ Barra} \end{cases}$$

Un año después Wiegel presenta sus relaciones entre la pendiente de la playa y la granulometría, haciendo la distinción entre playas expuestas, medianamente protegidas y protegidas exponiéndolo gráficamente a partir de un análisis de playas en los Estados Unidos. Este gráfico sitúa en ordenadas el diámetro medio del grano en milímetros y en abscisas las diferentes pendientes. Las curvas representan una serie de nubes de puntos donde se sitúan playas tipo enfrentadas a granulometrías y pendientes (figura 4).

Nayak, en 1970, incluyó en el estudio de variación natural del perfil el peso específico y la velocidad de caída del grano  $w$ . Igualmente, puso de manifiesto la relación entre la reflexión y la velocidad de caída de la partícula sedimentaria condicionado para la formación de variaciones estacionales de respuesta lenta, tipo verano, berma o reflejante.

Estos ensayos permiten definir el factor de velocidad adimensional  $w$  como relación entre la iniciación del movimiento y los parámetros gravitatorios y de período de oleaje. La ecuación de equilibrio puede escribirse:

$$\frac{H_0}{L_0} = c \frac{w}{C_0}$$

siendo:

- $H_0$  = Altura de ola en profundidades indefinidas.
- $L_0$  = Longitud de onda en profundidades indefinidas.
- $w$  = Velocidad de iniciación del movimiento de la partícula.
- $C_0$  = Celeridad del movimiento.

Dean (1973) concluye que la variación natural del perfil se produce para valores de la celeridad próximos a 0,85, corroborado por Allen en 1985. El Shore Protection Manual asume posiciones superiores a la unidad para perfiles erosivos, mientras que inferiores dan si-

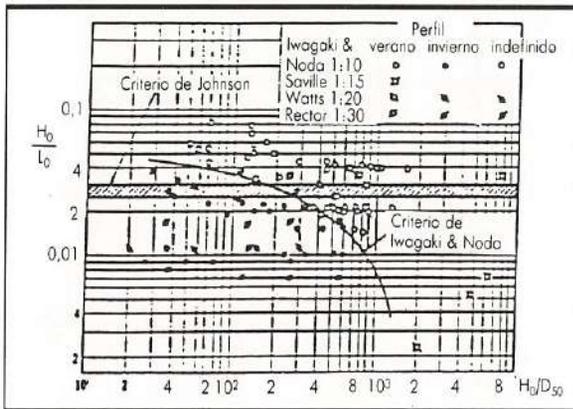


FIGURA 3. Relación entre el peralte y el diámetro medio en el de basculación.

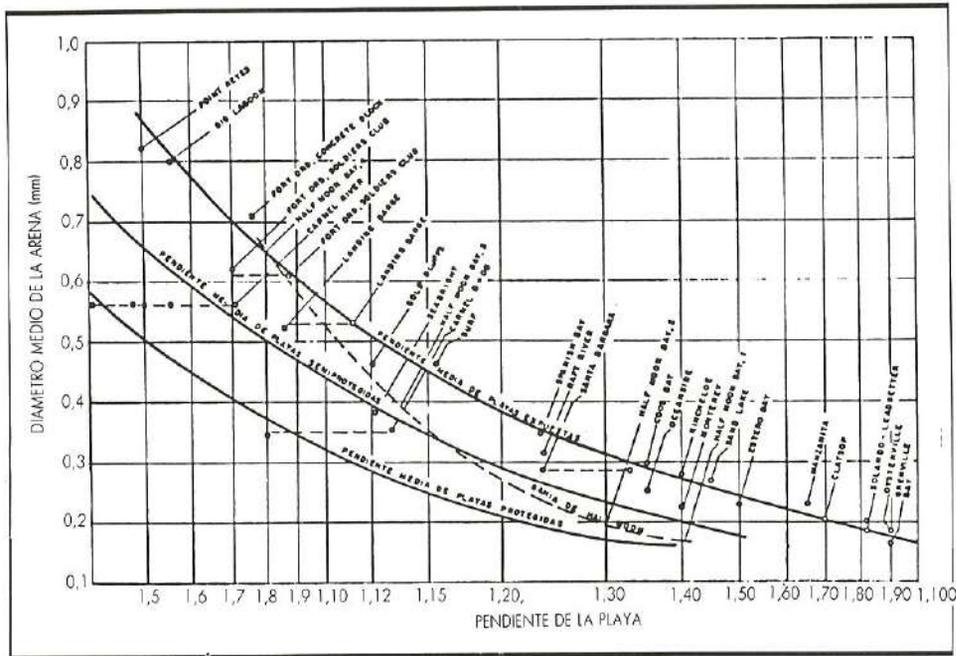


FIGURA 4. Relación entre la pendiente de la playa y el tamaño del árido, Wiegel.

tuciones acumulativas. Este autor propone un modelo heurístico basado en que la partícula en zona de rotura se pone en suspensión alcanzando una altura y proporcional a la ola en rotura. El grano tarda un tiempo en caer cuya aproximación es  $y/w$ . El comportamiento será (figura 5):

$$t < T/2 \text{ desplazamiento hacia el mar, barra}$$

$$t > T/2 \text{ desplazamiento hacia tierra, berma}$$

Introduciendo los parámetros de longitud de onda, la ecuación queda:

$$t = \frac{y}{w} = K \frac{H}{w}$$

$$\frac{H_0}{L_0} = 1,7 \pi \frac{w}{gT}$$

Van Hijum (1974-1976) desarrolló una serie amplia de experimentos sobre playas de granulometría gruesa. Para incidencia normal de oleaje y granulometrías superiores a 1,80 milímetros el criterio berma-barra evoluciona:

$$\frac{H_0}{L_0} = 2,50 \left( \frac{D_{90}}{H_0} \right) \cdot k^3$$

donde:

$$K = \sqrt{\frac{D_{90}}{6}} \text{ para } D_{90} < 6 \text{ mm}$$

$$K = 1 \text{ para } D_{90} > 6 \text{ mm}$$

El factor  $K$  propuesto por Van Hijum ha sido corregido a partir de ensayos de Pilarczyk y valores del parámetro próximos a la unidad.

Sunamura y Horikawa (1974) demuestran la existencia de perfiles erosivos o de acumulación como con-

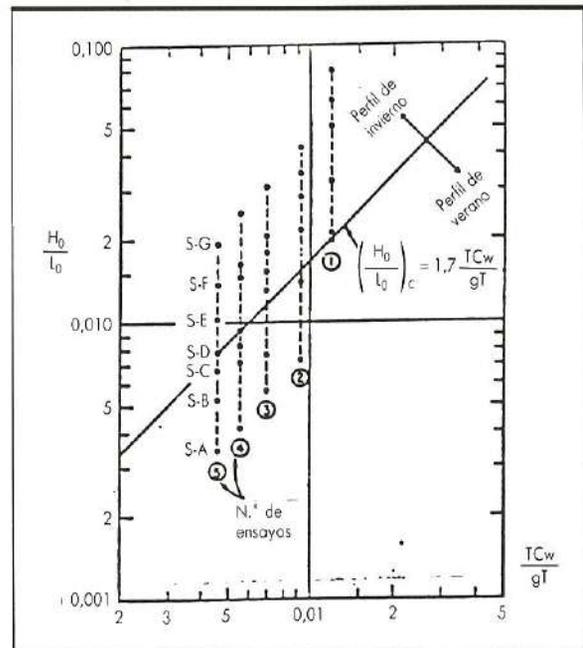


FIGURA 5. Comparación de perfiles en función de la velocidad adimensional de caída.

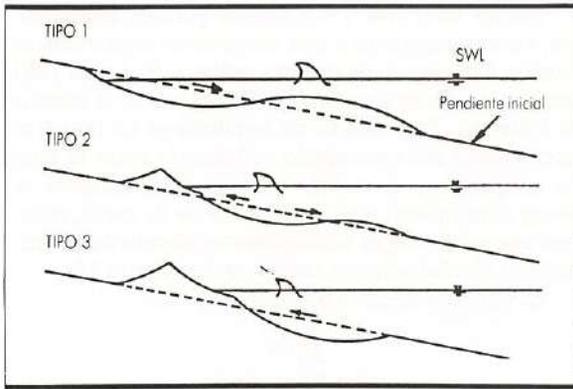


FIGURA 6. Formación de perfiles según Sunamura y Horikawa.

secuencia de la variación de la pendiente inicial de la playa al comienzo del ensayo, el peralte en profundidades indefinidas y la granulometría. Utilizando sus experiencias propusieron:

$$\frac{H_0}{L_0} = C \cdot (tg\beta)^{-0,27} \left( \frac{D}{L_0} \right)^{0,67}$$

donde (figura 6):

- Tipo 1;  $c > 8$ , perfil de temporal.
- Tipo 2;  $4 < c < 8$ , perfil de temporal en formación.
- Tipo 3;  $c < 4$ , perfil de verano.

Para estos ensayos, Sunamura y Horikawa variaron las condiciones de oleaje, la granulometría, la marea y la definición inicial del perfil. Sin embargo, la utilización del parámetro  $D/L_0$  es cuestionable dentro de la variación natural del mismo.

Battjes, 1974, demostró que el equilibrio morfodinámico y la formación de barras estaba relacionado con el fenómeno de rotura. Iribarren, 1949, propone su parámetro de estabilidad como criterio de reflexión y rotura del oleaje. Bowen (1968) y Battjes (1974), encuentran aplicaciones dentro de la dinámica de playas empleando el parámetro de similitud en zona surf cuyo valor es  $\frac{H}{2} w^2 / g \cdot tg^2\beta$ . De esta manera se demuestra la transición entre rotura y reflexión,  $I_r = 2,30$ ; la forma de rotura, spilling, plunging, collapsing o surging; el ancho de la zona de rompiente ( $0,8/I_r$ ); el run-up ( $\frac{R}{H} = I_r$ ); el set-up ( $0,3H$ )... Esta relación fue corroborada por Short y Wright en 1984, apoyados en ensayos de Dean (figura 7).

En 1976, Dalrymple y Tompson propusieron una relación empírica entre la pendiente del estrán y la velocidad de caída del grano. Sobre ensayos de laboratorio, concluyeron que la pendiente es independiente de las condiciones iniciales de ensayo, de manera que la ero-

sión es función del volumen por unidad de anchura de tanque, de la altura de ola en profundidades indefinidas, de la pendiente inicial de la playa y del calado al pie del talud. El valor de la erosión será:

$$\frac{Q \cdot H_0}{i \cdot d}$$

Thorton, en 1978, relaciona el tipo de rotura y la velocidad orbital con las fluctuaciones turbulentas dentro de la morfodinámica de playas.

Gourlay, 1980, propone la teoría de factores activos y pasivos como condicionante natural del perfil. El factor adimensional  $H/Tw$  es el elemento condicionante del perfil. Introduciendo la relación  $w \approx \sqrt{D_{50}}$  y para valores de  $H/Tw$  próximos a 0,54, se propone:

$$\frac{H_0}{T \cdot w} < 1 \text{ Berma}$$

$$\frac{H_0}{T \cdot w} > 1,4 \text{ a } 1,5 \text{ Barra}$$

Si se hiciera una pequeña reflexión de lo analizado hasta el momento, se observa, inicialmente, cómo el elemento clasificador del perfil fue el peralte, posteriormente se introdujeron las variables granulométricas, bien diámetro medio, bien peso específico, para finalmente,  $w$  como velocidad de caída o de iniciación del movimiento de la partícula sedimentaria. Estudiando estos parámetros, la dinámica se estudia sobre dos elementos  $H/T \cdot w$  y  $w/gT$ , tiempo relativo de caída y velocidad adimensional.

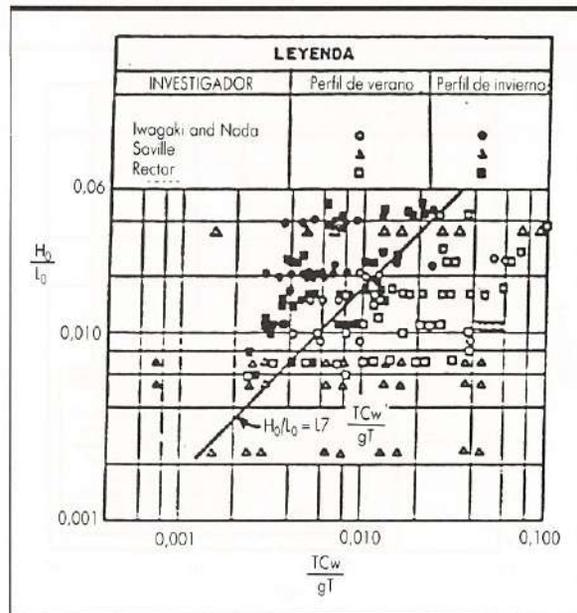


Figura 7. Criterio de Dean.

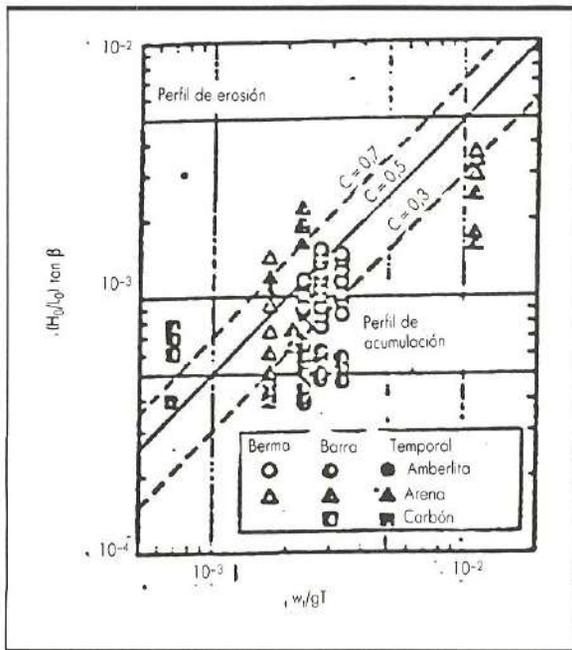


FIGURA 8. Criterio de Hattori y Yamamoto.

Hattori propone un nuevo parámetro de control del tipo de perfil conjunción del peralte, la pendiente de la playa y la velocidad adimensional de caída, obteniendo la relación:

$$\frac{H_0}{L_0} \cdot tg\beta = c \frac{w}{gT}$$

(Fig. 8 y 9).

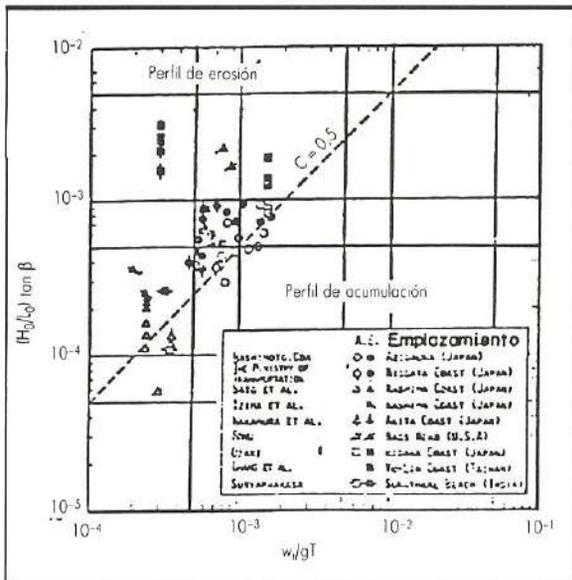


FIGURA 9. Criterio comparado de Hattori.

Valores inferiores a 0,5 indican perfiles acumulativos, valores superiores a éste demuestran situaciones de erosión. Trabajando de manera análoga, Wang en 1981 propone un parámetro de estabilidad inverso al número de Iribarren. Este estudio de equilibrio es un índice de interferencia del movimiento ondulatorio entre la zona de rompiente y el estrán. Valores del parámetro de Wang altos indican situaciones erosivas de perfil, mientras que valores bajos demuestran existencia de acumulaciones morfodinámicas transversales (figura 10).

El valor del mencionado parámetro es:

$$\frac{H_b^{1/2}}{T \cdot Tg\beta \cdot \sqrt{g}}$$

CRITERIO	VARIABLES	CONDICIONANTES
Meyer, 1936	$H_0, L_0$	Oleaje regular, nivel medio constante
Waters, 1939	$m$	Oleaje regular, nivel medio constante
Johnson, 1949	$H_0, L_0$	Oleaje regular, nivel medio constante
Watts-Dearduff, 1954	$H_0, L_0$	Variaciones de nivel y clima
Rector, 1954	$H_0, L_0, D_{50}$	Influencia granulom
Saville, 1957	$H_0, L_0$	Cuestiona Johnson
Ywagaki-Noda, 1962	$H_0, L_0, D$	Influencia granulom
Sitarz, 1963	$H_0, L_0, T, l, g, D$	—
Wiegel, 1964	$D, m$	Expuestas, semiprotectidas y protegidas
Nayak, 1970	$D, w$	—
Dean, 1973	$H_0, L_0, w, C_D, g, T$	Modelo heurístico
Van Hijum, 1974	$H_0, L_0, D_{90}$	Oleaje normal. Granulomen elevada
Pilarczyk, 1974	$H_0, L_0, D_{90}$	Corrección anterior
Sunamura-Harikawa, 1974	$H_0, L_0, D, \beta$	Oleaje regular. Observaciones naturaleza
Batjes, 1974	$H_0, L_0, \beta, g, T$	Rotura/perfil
Dalrymple-Tomson, 1976	$Q, H_0, i, d$	Pendientes, velocidad de caída
Thornton, 1976	$w, l_r$	Medidas experimentales
Gourlay, 1980	$H_0, w, T, D$	Factores activos, pasivos
Hattori, 1980	$H_0, L_0, \beta, g, T, w$	Velocidad de caída
Wang, 1981	$H_b, g, T, \beta$	Inverso a $l_r$
Allen, 1985	$H_0, L_0, w, g, T$	Relación coeficiente Dean

TABLA 1.

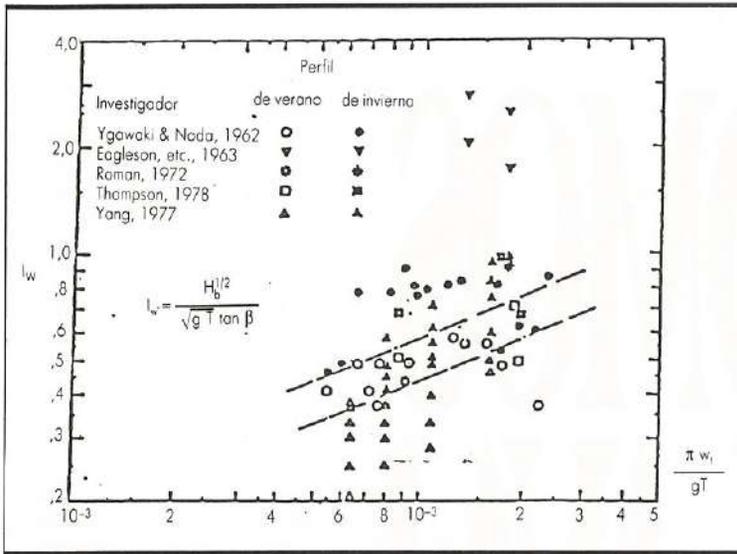


FIGURA 10. Criterio de Wang.

Finalmente, Allen ha evaluado la fiabilidad del modelo heurístico de Dean a partir de medidas de perfil en la naturaleza. En 1985 propone valores del inverso de la constante próximos a 2,0 para perfiles erosivos, en relación a 1,70 propuesto por Dean en 1973. Con estos antecedentes se elabora el siguiente cuadro resumen de criterios de basculación berma-barra, perfil reflejante-disipativo, verano-temporal, función de las diferentes variables que intervienen en el fenómeno.

### 3. EVOLUCION CRONOLOGICA

En la tabla 1 se reflejan a continuación cronológicamente los criterios anteriormente expuestos.

### 4. CONCLUSIONES

A. Históricamente, el elemento clasificador del perfil es el peralte.

- B. La pendiente de la playa depende del tamaño del grano.
- C. Oleajes de bajo período y elevada altura de ola originan perfiles en barra, disipativos o de temporal.
- D. Oleajes de alto período y baja altura de ola originan perfiles en berma, reflejantes o de verano.
- E. Los parámetros básicos actuales son el tiempo relativo de caída  $H/Tw$  y la velocidad de caída adimensional.
- F. El tiempo de respuesta de un perfil de invierno es escaso, en verano puede durar semanas, incluso meses.
- G. Los parámetros de ensayo quedan relacionados con el número de Iribarren,  $w/gT$  y  $H/Tw$ .
- H. La geometría transversal del perfil es función del Clima Marítimo y de las características granulométricas de la playa.

**MAPFRE CAUCION  
Y CREDITO**

# SOMOS SU AVAL

Siempre que necesite un aval cuente con nosotros.  
MAPFRE CAUCION Y CREDITO  
es especialista en la concesión de fianzas y avals  
y en SEGUROS DE CREDITO  
contra el riesgo de insolvencia de sus clientes.



De toda confianza.



- **MADRID**, Paseo de Recoletos, 23. Tel. (91) 581 13 00
- **BARCELONA**, Avda. Diagonal, 579, 2º Tel. (93) 401 26 39
- **BILBAO**, Avda. Sabino Arana, 4. Tel. (94) 441 27 37
- **LA CORUÑA**, Fernando Macías, 31. Tels. (981) 27 05 11/90
- **MALAGA**, Avda. de Andalucía, 22. Tel. (952) 28 38 04 • **PAMPLONA**,  
Hermanos Imaz, 1. Tel. (948) 22 62 04 • **SEVILLA**, Avda. República  
Argentina, 43. Tel. (954) 45 27 88 • **VALENCIA**, General Elio, 2.  
Tel. (96) 362 10 22 • **VALLADOLID**, Pío del Río Hortega, 6.  
Tel. (983) 30 38 11 • **VIGO**, García Ollóqui, 8. Tel. (986) 22 33 01
- **ZARAGOZA**, Paricio Frontiñán, s/n. Tel. (976) 43 13 99

Y A TRAVES DEL RESTO DE OFICINAS MAPFRE  
EN TODA ESPAÑA.

Si desea recibir más información, recorte, rellene y envíe este cupón a:  
**MAPFRE CAUCION Y CREDITO, PASEO DE RECOLETOS, 23. 28004 MADRID**

Sr. D. \_\_\_\_\_  
Empresa \_\_\_\_\_  
Dirección \_\_\_\_\_  
Población \_\_\_\_\_  
Provincia \_\_\_\_\_  
Tel. \_\_\_\_\_  
C.P. \_\_\_\_\_



# Ponga a su constructor de cara a la pared.

Y que le enseñe. Que le demuestre si de verdad lleva ISOVER.

Al comprar una casa la gente se fija cada vez más en los detalles. Como en lo que hay detrás de las paredes. Ya saben que, si su casa no está bien aislada, además de soportar los gritos del vecino, tendrán que pagarlo en calefacción. Por eso piden un aislamiento como exige la ley.

ISOVER es lana de vidrio. Por eso consigue absorber hasta el 70% del ruido incidente.

Y como aislamiento térmico, con ISOVER podrá reducir hasta en un 40% los recibos de calefacción. Así contribuimos a proteger el medio ambiente: menos calefacción, menos contaminación. No se nos escapa nada. ISOVER es confort. Y también seguridad. Porque ISOVER es incombustible y no desprende gases tóxicos.

Recuérdelo. Exija a su constructor que mire por usted. Que mire a la pared.



Con ISOVER es otra casa.



Solicite información a ISOVER. Apartado 61.021. 28080 Madrid.

Nombre \_\_\_\_\_  
 Profesión \_\_\_\_\_  
 Dirección \_\_\_\_\_  
 Población \_\_\_\_\_ C.P. \_\_\_\_\_

**máxima calidad  
como máxima**



**PAYMA, S.A.**

**CONTROL DE CALIDAD**