

La variabilidad de los perfiles de playa.

Perfiles de verano e invierno.

Análisis histórico (primera parte)^(*)

Por VICENTE NEGRO VALDECANTOS

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Profesor Titular de Universidad.

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.

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.

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.

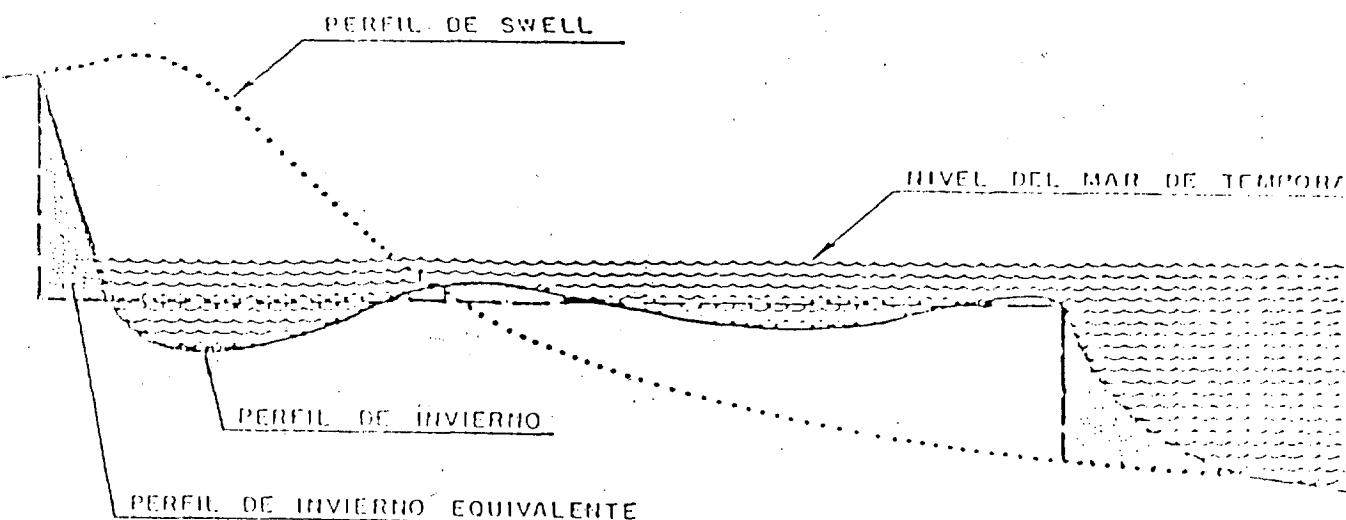
Con esta referencia, hay que tener presente que los perfiles en barra se identifican con situaciones erosivas y los perfiles en berma en situaciones acumulativas. Esto significa que la naturaleza responde disipando energía en períodos cortos de temporal y transporte offshore de sedimentos, mientras que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

2. ANALISIS HISTORICO

Algunos investigadores han identificado el peralte de la onda en profundidades indefi-

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de junio de 1990.

LA VARIABILIDAD DE LOS PERFILES DE PLAYA. PERFILES DE VERANO E INVIERNO



Vacaciones estacionales del perfil de playa

nidas (HO/LO) 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:

$$HO/LO < 0.025$$

Perfil de verano, berma, reflejante

$$HO/LO > 0.030$$

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 parámetros del sedimento, encaminándose

a relaciones HO/D50, y de LO/D50, siendo D50 el diámetro medio de la partícula.

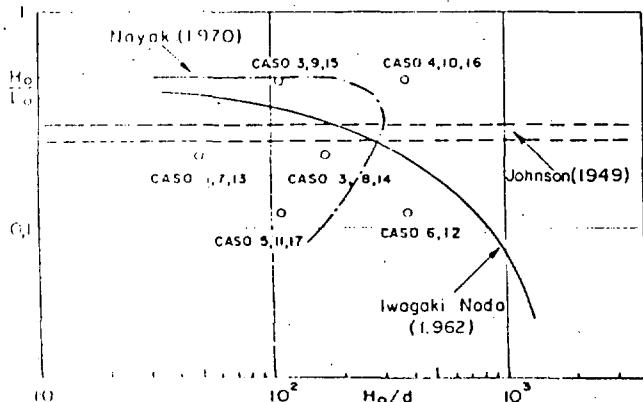
Seville (1957) hizo notar con escalas grandes de ensayo que se formaban perfiles de invierno con valores de peralte 0.025, que contrastaba con la teoría de Johnson de 1949 y 1952.

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.

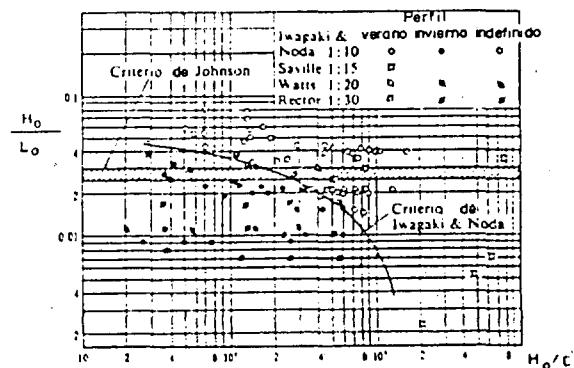
Tras las primeras investigaciones, el perfil que se forma debido al transporte intenso hacia el mar reúne las principales características:

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 sedimentos.
5. Retroceso de la línea de orilla como

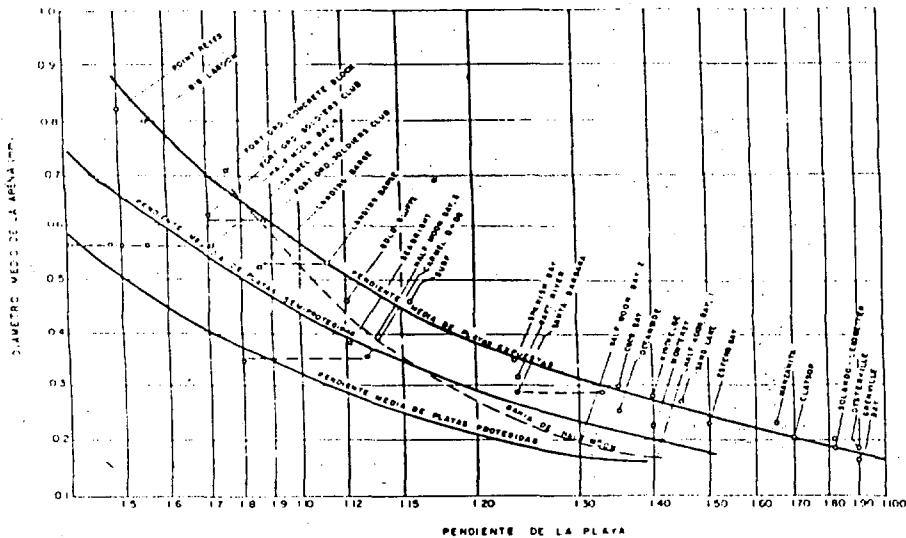
LA VARIABILIDAD DE LOS PERFILES DE PLAYA. PERFILES DE VERANO E INVIERNO



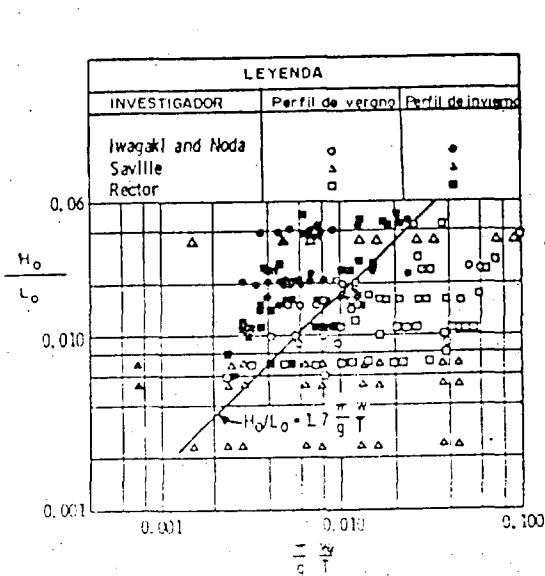
Criterios de comparación de perfiles berma/barra



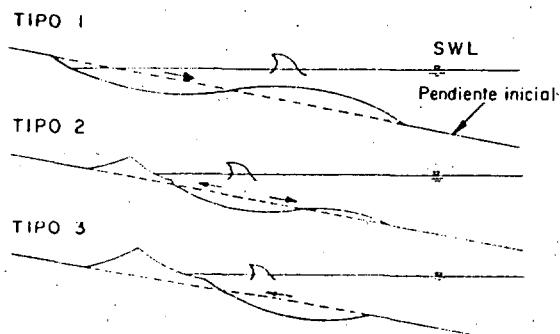
Relación entre el perfil y el diámetro medio en ensayo de basculación.



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

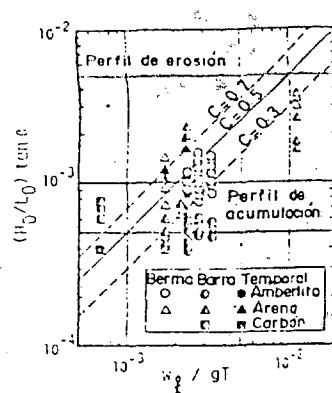
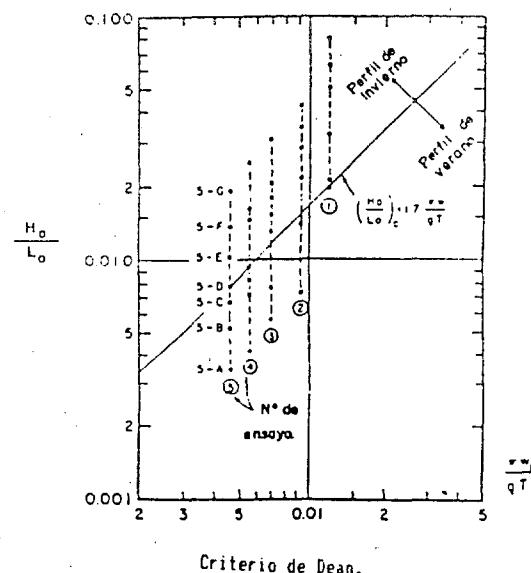


Comparación de perfiles en función de la velocidad adimensional de caída.

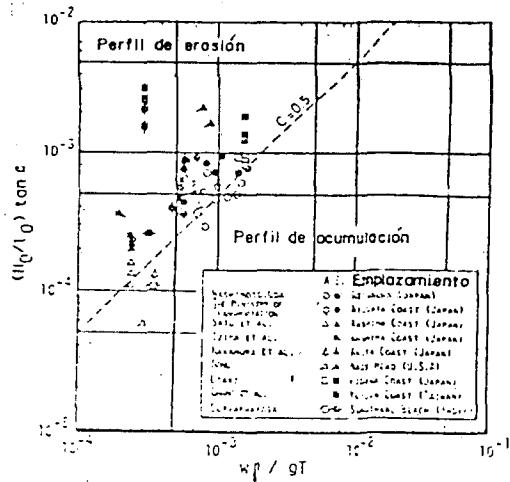


Formación de perfiles según Sundaresh y Horikawa.

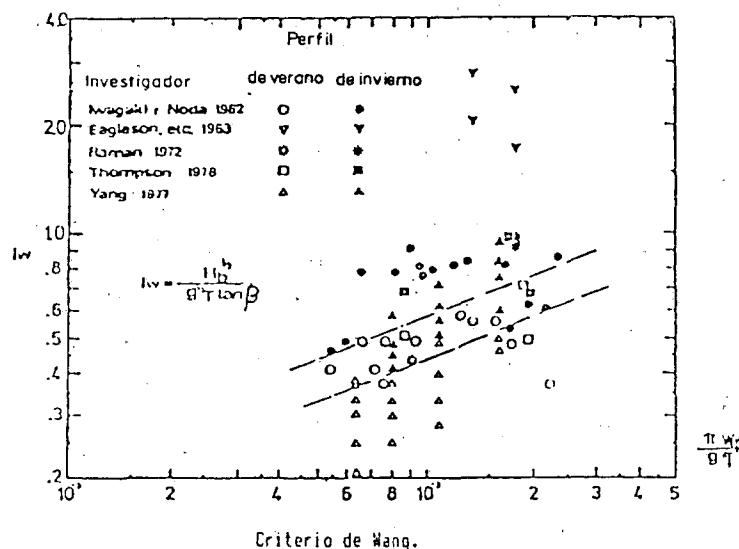
LA VARIABILIDAD DE LOS PERFILES DE PLAYA. PERFILES DE VERANO E INVIERNO



Criterio de Hattori y Kawačata.



Criterio comparado de Hattori.



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 compleja a partir de 1962, cuando se demostró que los criterios anteriores tenían un marco de validez reducido y correlacionado con el parámetro HO/D50. 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 coo función de los productos HO/LO y HO/D50 y con los valores siguientes:

$$HO/LO = 0.025 \quad HO/D50 < 300$$

$$HO/LO = 0.010 \quad HO/D50 > 1000$$

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:

$$H/T [g(S-1)D]^{**0.5} \quad \begin{cases} < 0.6 & \text{Berma} \\ > 0.6 & \text{Barra} \end{cases}$$

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.

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:

$$HO/LO = c w/CO$$

siendo:

HO = Altura de ola en profundidades indefinidas.

LO = Longitud de onda en profundidades indefinidas.

w = Velocidad de iniciación del movimiento de la partícula.

CO = 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 situaciones 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:

$t < T/2$ desplazamiento hacia el mar, barra
 $t > T/2$ desplazamiento hacia tierra, berma

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

$$t = y/w = K H/w$$

$$HO/LO = 1.7 \pi w/gT$$

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:

$$HO/LO = 2.5 (D90/HO) (k^{**3})$$

donde:

$$K = (D90/6)^{**0.5} \quad \text{para } D90 < 6\text{mm.}$$

$$K = 1 \quad \text{para } D90 > 6\text{mm.}$$

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

Sunamura y Horikawa (1974) demuestran la existencia de perfiles erosivos o de acumulación como consecuencia 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:

$$HO/LO = C (\operatorname{tg}B)^{**}(-0.27) (D/LO)^{**}0.67$$

donde

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/LO es cuestionable dentro de la variación natural del mismo.

Batjes (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 Batjes (1974) encuentran aplicaciones dentro de la dinámica de playas empleando el parámetro de similaridad en zona surf cuyo valor es $(H/2)(w^{**2}/g)(\operatorname{tg}B)^{**2}$. De esta manera, se demuestra la transición entre rotura y reflexión, $Ir = 2.30$; la forma de rotura, spilling, plunging, collapsing o surging; el ancho de la zona de rompiente ($0.8/Ir$); el run-up ($R/H = Ir$); el set-up ($0.3H$)... Esta relación fue corroborada por Short y Wright en 1984.

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 erosión 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:

$$Q HO/i d$$

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 $w = (D)^{**}0.5$ y para valores de H/Tw próximos a 0.54, se propone:

$$HO/Tw < 1 \text{ Berma}$$

$$HO/Tw > 1.4 \text{ a } 1.5 \text{ Barra}$$

Si se hiciera una pequeña reflexión de lo analizado hasta el momento, se observa como, inicialmente, 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/Tw y w/gT, tiempo relativo de caída y velocidad adimensional.

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:

$$HO/LO \operatorname{tg}B = c w/gT$$

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.

El valor del mencionado parámetro es:

$$(Hb)^{**}0.5/T \operatorname{tg}B (g)^{**}0.5$$

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

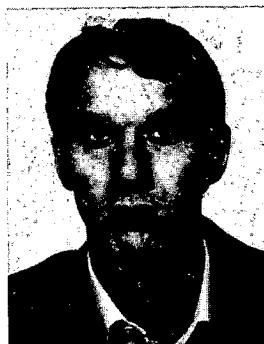
Se reflejan a continuación, cronológicamente, los criterios anteriormente expuestos.

Criterio	Variables	Condicionantes
Meyer, 1936	HO, LO	Oleaje regular, nivel medio constante
Waters, 1939	HO, LO	Oleaje regular, nivel medio constante
Johnson, 1949	HO, LO	Oleaje regular, nivel medio constante
Watts-Dearduff, 1954	HO, LO	Variaciones de nivel y clima
Saville, 1957	HO, LO	Cuestiona Johnson
Ywagaki-Noda, 1962	HO, LO, D	Influencia granulom
Sitarz, 1963	HO, LO, T, L, g, D	
Wiegel, 1964	D, m	Exuestas, semiprotegidas y protegidas
Nayak, 1970	D, w	
Dean, 1973	HO, LO, w, CO, g, T	Modelo heurístico
Van Hijum, 1974	HO, LO, D90	Oleaje normal
Pilarczyk, 1974	HO, LO, D90	Granulometria elevada
Sunamura-Horikawa, 1974	HO, LO, D, Beta	Corrección anterior
Batjes, 1974	HO, LO, Beta, g, T	Oleaje regular.
Dalrymple-Tomson, 1976	Q, HO, i, d	Observaciones natura- leza
Thorton, 1976	w, Ir	Rotura/perfil
Gourlay, 1980	HO, w, T, D	Pendiente, velocidad de caída
Hattori, 1980	HO, LO, Beta, g, T, w	Medidas experiment.
Wang, 1981	Hb, g, T; Beta	Factores activos, pasiv.
Allen, 1985	HO, LO, w, g, t	Velocidad de caída
		Inverso a Ir
		Relación coef. Dean

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.

Vicente Negro Valdecantos



Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, junio 1985. Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, octubre 1989. Profesor Titular Interino del Departamento de Urbanismo, Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, docencia Puertos y Costas, Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid. Colaborador del Laboratorio Ramón Iribarren y del Departamento de Ingeniería Marítima de INTECSA.