

La variabilidad de los perfiles de playa.

Perfil morfodinámico de equilibrio

(segunda parte)^(*)

Por VICENTE NEGRO VALDECANTOS

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Profesor Titular de Universidad.

Las formas de equilibrio de un determinado lecho arenoso bajo la acción de un tren de ondas de altura Y y período T justifican la distinción entre morfodinámica de equilibrio de verano, en berma o con pendiente fuerte y de invierno; en barra, con pendiente tendida entre la barra y el estrán. Admitida la existencia de un perfil de equilibrio, se expone en este estudio el análisis de la geometría básica del mismo, haciendo referencia a las formas de configuración transversal de la línea de orilla.

1. INTRODUCCION

La tipología o naturaleza de los fondos es el indicador básico del mecanismo del transporte de sedimentos. El conocimiento del movimiento de la partícula arenosa y de la hidrodinámica de la zona de rompiente son las premisas determinantes para definir los modelos de evolución de playas y las curvas geométricas del mismo.

El tiempo es el condicionante del tipo de perfil. Una condición breve de altura de ola grande y período pequeño originaría la típica situación de invierno, disipativa o barra, mientras que con alturas de ola pequeñas y períodos grandes, el perfil se estabilizará en berma. Si el tiempo fuese suficientemente largo, la playa alcanzará una situación estable en forma y posición; implicando que en el equilibrio en cada punto del perfil, el balance de transporte de sedimentos en un intervalo significativo es nulo.

Dos son, en consecuencia, las funciones que intervienen en la formación del perfil, las características del clima marítimo y la tipología y granulometría de los sedimentos que forman la playa.

Son múltiples los criterios que han llevado a los investigadores a plantear ecuaciones esquemáticas de la geometría, presentándose a continuación los modelos y los resultados de los principales esquemas de playa.

2. CURVAS GEOMETRICAS DEL PERFIL

El flujo de energía producido por un tren de ondas solitarias con una corriente compensatoria de retorno, satisfaciendo la ecuación de continuidad, es el primer condicionante desarrollado por Keulegan y Krumbein para la formación del perfil de equilibrio. La onda pierde energía por fricción en el fondo al acercarse a la costa, llegando a la orilla con energía nula. La altura de ola viene condicionada por el modelo de rotura, función de la profundidad en este tipo de onda.

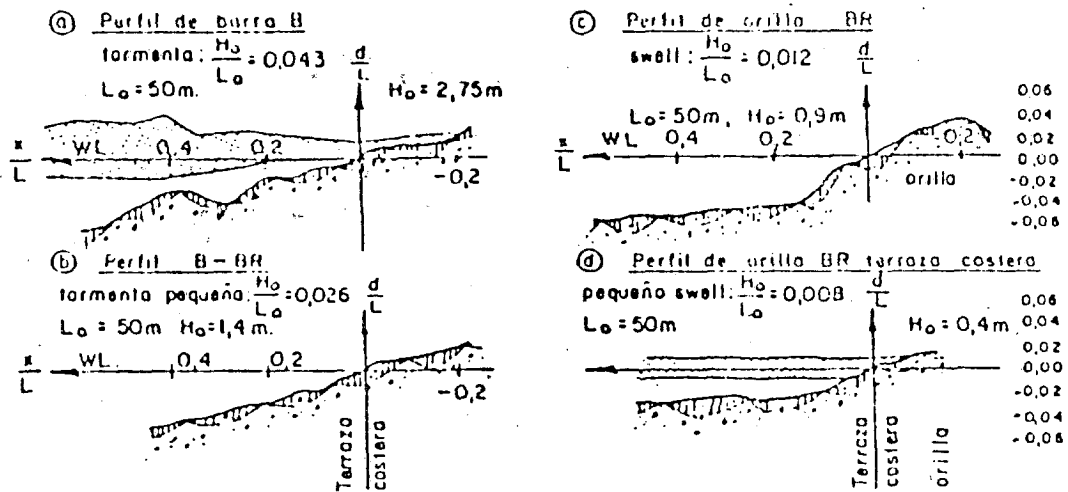
Esta primera expresión dada por Keulegan y Krumbein en el año 1949 tiene por forma:

$$x = 19.84 (g)^{0.25} (y)^{1.75}$$

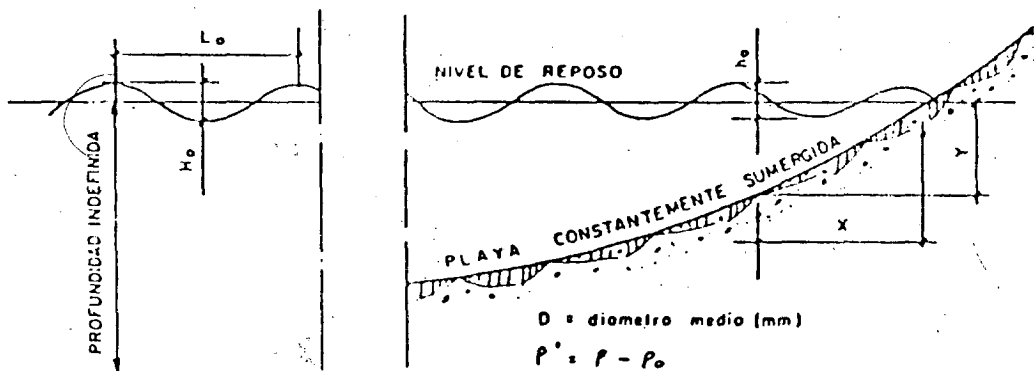
Como resultado de la erosión de costas en Dinamarca y California, y como consecuencia del efecto de la tensión cortante

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de julio de 1990.

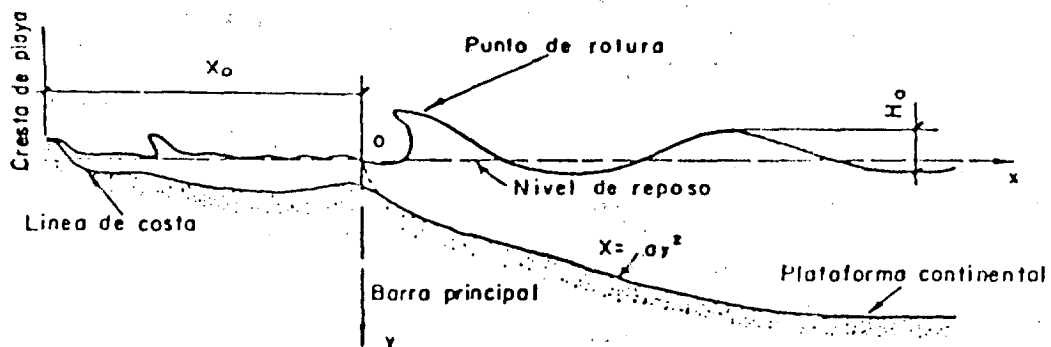
LA VARIABILIDAD DE LOS PERFILES DE PLAYA



Perfil de equilibrio de Bruun.

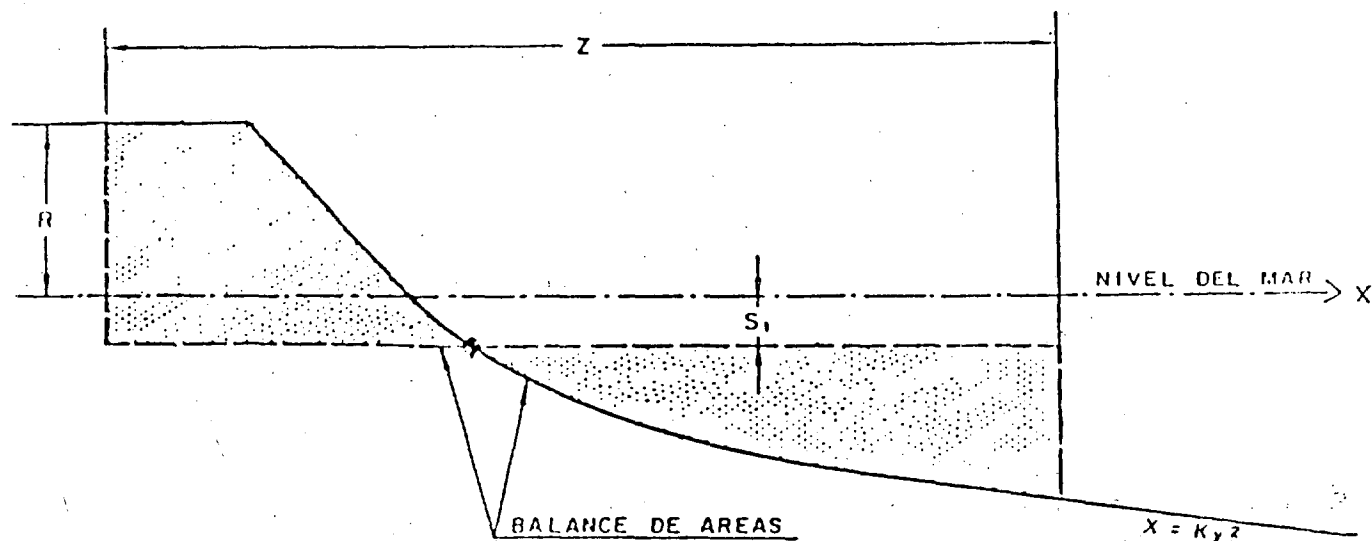


Perfil de equilibrio de Larras.

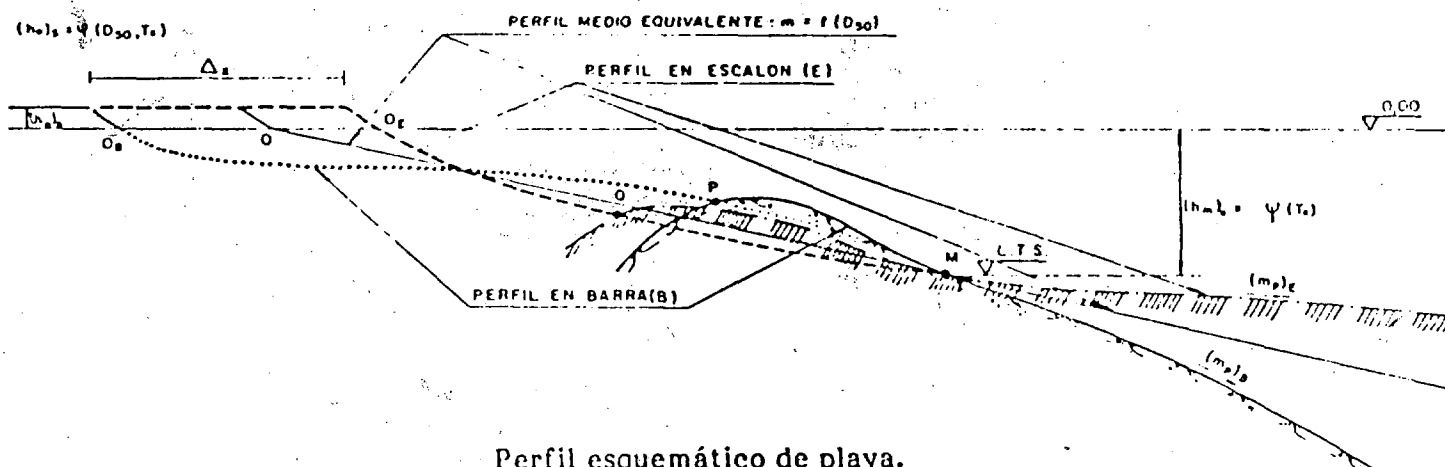


Perfil de equilibrio de Sitarz.

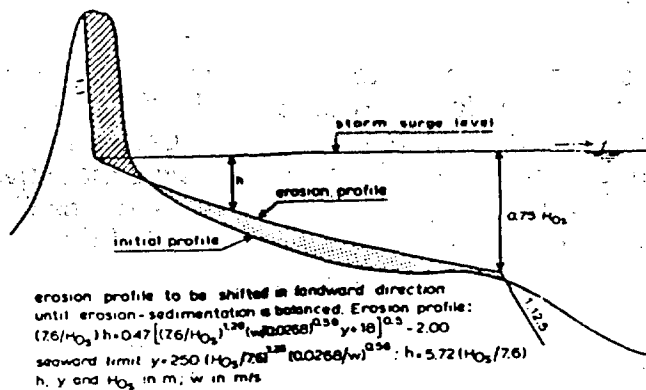
LA VARIABILIDAD DE LOS PERFILES DE PLAYA



Comparación de áreas en el perfil de Sitarz.



Perfil esquemático de playa.



Perfil esquemático de Vellinga.

producida por el fondo y la constancia de la disipación de energía a lo largo del perfil, Bruun propone entre 1952 y 1954 una curva geométrica para la forma de la playa convergente para $y \ll LO$, de manera que la ecuación se reduce:

$$(y)^{1.5} = px$$

Bruun analiza en la actualidad variaciones en surf zone y breaker zone obteniendo expresiones:

$$(y)^{1.2} = px$$

$$(y)^{1.5} = px$$

Si además se considera que la disipación es debida a la fricción con el fondo, se puede obtener la expresión:

$$(y)^{1.5} = px/(T)^{0.67}$$

Empleando razonamientos energéticos, la disipación del oleaje, con el consiguiente movimiento de las partículas hacia la orilla, es proporcional a la fuerza ejercida por el fluido sobre las partículas y el desplazamiento sufrido. Inmann y Bagnold, en 1963, proponen una formulación sencilla y lineal, de manera:

$$y = px$$

Larras, en 1963, intentó obtener una expresión analítica que definiera el perfil medio, analizando 34 perfiles de equilibrio obtenidos en canal de ensayo con cuatro tipos de material, polietileno, plexiglás, lignito y antracita, y cotejados por 45 perfiles procedentes de datos de campo. La conclusión fue un perfil medio asimilable a una parábola de expresión matemática.

$$y/LO = k(x/LO)^m$$

donde tanto k como m son constantes dependientes del clima; HO, LO, de la densidad de las partículas y del diámetro medio. Continuando con las investigaciones, Sitarz en 1969 establece un perfil medio con compensaciones de áreas en las basculaciones naturales del perfil. La expresión es de la forma:

$$x = a(y)^2 + xO$$

donde a es función de D, HO y la densidad relativa de las partículas, y x O depende de

D, HO, las condiciones reflejantes o disipativas, berma barra y la densidad relativa de las partículas.

Entre 1970 y 1974, Sunamura y Horikawa formulan una ecuación de perfil medio, basados en una amplia serie de ensayos, relacionando el peralte y las características geológicas y geomorfológicas del medio que permitan evaluar las basculaciones temporal, verano además de obtener una curva geométrica lineal de playa. Los perfiles medios desarrollados son los siguientes:

Sunamura:

$$y = 0.25 (D)^{0.25} (L)^{0.15} (H)^{-0.4} x$$

Horikawa:

$$y = 0.25 (D)^{-0.25} (HT)^{-0.5} x$$

En este mismo año, Swart combina las teorías de transporte litoral y de perfil de equilibrio, dividiendo el mismo en una parte no erosionable, backshore; el perfil D donde existe transporte por suspensión y la transición o zona de perfil donde sólo existen variaciones por fondo. Swart define los límites superiores e inferiores de la zona de playa y el transporte, planteando un modelo función de HO, LO y D50. Este método es complicado y laborioso, planteando una falta de definición en el tramo de transporte por suspensión y el uso de oleaje regular.

Dean, en 1977, evaluó los perfiles medios de equilibrio en diferentes lugares de la costa Este y el Golfo de México, obteniendo:

$$y = A (x)^n$$

siendo A un parámetro de longitud elevado a un tercio, variando entre 0.053 y 0.268, lo que contrasta con la posición de Bruun del valor de p, que establece 0.127 a 0.145.

Este ensayo fue completado con un análisis exhaustivo de tramos de costa, con rotura en oscilación y energía disipada por unidad de volumen, obteniendo valores de n próximos a 0.67. Empleando otros mecanismos para gobernar perfiles, basados en tensión tangencial media o tasa de disipación por unidad de área, se obtienen valores de $n = 0.40$.

Readshaw en 1979, basado en la disipa-

ción de energía y su constancia por unidad de área del fondo, ajusta una curva semejante a la de Bruun o Dean para granulometrías próximas a 0.60 mm. La geometría obtenida es la siguiente:

$$y = 0.112 (x)^{0.98}$$

En 1980, Hattori y Kawamata proponen un nuevo parámetro de control del tipo de perfil, conjunción del peralte, la pendiente y la velocidad adimensional de caída. Además de facilitar la evaluación del perfil disipativo o reflejante, obtienen una formulación sencilla semejante a la de Bruun o Dean con constancia del parámetro p. Esta es:

$$y = p (x)^{0.67}$$

Sayao, en 1982, realizó diferentes ensayos con granulometría de 0.18 mm. y comprobando tras sollicitaciones de 30 horas las formas propuestas por Bruun o Dean. La ley que representa el perfil es de manera:

$$y = 0.082 (x)^{0.633}$$

Con estos resultados, Sayao sugiere que n depende del tamaño del grano, siendo superior a 1 para arenas gruesas o gravillas, e inferior a la unidad para arena fina. El límite se sitúa en 0.60 mm. de diámetro medio.

Moore, en 1982, analiza gamas amplias de tamaños de arena encontrando una relación del parámetro de Dean y el diámetro medio, aproximándolo por $(D)^{0.33}$. Combinaciones de resultados dan perfiles de la forma

$$x = B (y)^{0.66} (D)^{0.33}$$

Entre 1981 y 1984, Bailard relaciona la forma de equilibrio o curva geométrica del perfil con sus estudios de transporte significativo de sedimentos. Este hecho condiciona que la línea transversal de playa varía si el transporte es nulo en fondo o la partícula entra en suspensión dependiendo del diámetro medio. Las expresiones siguiendo estas condiciones son:

$$y = p (x)^{0.5} \text{ Transporte nulo.}$$

$$y = p (x)^{0.285} \text{ Transporte fondo o suspensión}$$

Como puede observarse por las descripciones de las curvas geométricas hechas

hasta el momento, son muchos los factores que condicionan e intervienen en la configuración. Eso sí, es clave, determinante y fundamental el diámetro medio como elemento base en las leyes que rigen el fenómeno.

Garau en 1984 propone formulaciones de la pendiente en playas del Mediterráneo fundamentadas en el efecto granulométrico y separando la pendiente próxima a la orilla, el perfil medio de playa activa, el perfil de pie de playa y la pendiente de playa seca. La formulación establecida es de la forma:

$$m = (a + b \ln D50)/K$$

Como se analizó en la primera parte del trabajo, el perfil erosivo se analiza para olas de peralte próximo a 0.034. En 1984, Vellinga argumenta que para intervalos de peralte entre 0.020 y 0.040, el perfil de equilibrio depende muy débilmente del período. Es a partir de una serie de ensayos con oleaje irregular y el tiempo relativo de caída con lo que se pretende definir la curva geométrica de equilibrio en zona de rotura.

El perfil erosivo básico se obtuvo en prototipo para condiciones $H_s = 7.60$, $T = 12$ sg., $D50 = 0.225$ mm. y peralte de 0.034. La influencia de la velocidad de caída y el diámetro medio para un caso cualquiera permitió a Vellinga adaptar su inicial formulación y obtener en función de HO/LO la siguiente:

$$y = 0.70 (HO/LO)^{0.17} (w)^{0.44} (x)^{0.78}$$

Con esta revisión histórica, hay que tener presente que las fórmulas del perfil son curvas continuas, monótonas decrecientes y con dificultad de representar los fenómenos de la naturaleza, especialmente, las barras.

Eso sí, estas expresiones pueden considerarse como curvas de mejor ajuste entre las variaciones morfodinámicas de la playa. Hay que tener presente que el análisis en laboratorio de perfiles de equilibrio es complejo, unido a los factores de escala, los efectos de oleajes regulares e irregulares y la sensibilidad de la curva geométrica ante las variaciones de período.

El equilibrio depende del clima marítimo, así como de otra serie de factores como el nivel medio, las corrientes...

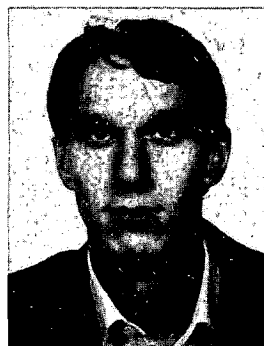
3. EVOLUCION CRONOLOGICA

Se recoge a continuación un cuadro resumen de los criterios morfodinámicos anteriormente expuestos.

Criterio	Formulación	Condicionante
Keulegan, Krumbein, 1949	$x = 19.84(g)^{0.25}(y)^{1.75}$	Flujo energía Onda solitaria
Bruun, 1952, 1954	$(y)^{1.5} = px, (y)^{1.2} = px$	Tensión cortan
Inmann, Bagnold, 1963	$y = px$	Disipación energía
Larras, 1963	$y/LO = K(x/LO)^m$	Ensayos canal
Sitarz, 1963	$x = a(y)^2 + x_0$	Compensac. áreas
Sunamura, Horikawa, 1970-1974	$y = px, p = f(H, T, L, D)$	Modelo
Swart, 1974	Compleja, H. L. D	Formas Transp.
Dean, 1977	$y = A(x)^n$	Energía disp.
Readshaw, 1979	$y = 0.112(x)^{0.98}$	Energía disp.
Hattori, Kawamata, 1980	$y = p(x)^{0.67}$	Const. parámetro
Sayao, 1982	$y = 0.082(x)^{0.633}$	Ensayos D = 0.18 mm.
Moore, 1982	$x = B(y)^{0.66}(D)^{0.33}$	A = (D) ^{0.33} Dean
Bailard, 1981-1984	$y = p(x)^{0.5}$ $y = p(x)^{0.285}$	Transporte fondo, suspens.
Garau, 1984	$m = a + b \ln D_{50}$	Efecto granul.
Velinga, 1984	$y = 0.7(H_0/LO)^{0.17}$ $(w)^{0.44}(x)^{0.78}$	Oleaje irregul. H/Tw

Analizados históricamente las curvas geométricas del perfil se está en disposición de emplear las ecuaciones de modelado y flujo costero y plantear las envolventes de equilibrio para determinar la franja de confianza de las curvas geométricas del perfil de equilibrio que se desarrollarán en el siguiente estudio.

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.