

ESTUDIO MORFOLÓGICO DEL PERFIL DE PLAYA: MODELO DE PERFIL DE EQUILIBRIO EN DOS TRAMOS

A.M. Bernabeu¹, R. Medina², C. Vidal² y J.J. Muñoz-Pérez³

¹ Departamento. de Geociencias Marinas, Facultad de Ciencias, Universidad de Vigo, 36200 Vigo, (bernabeu@uvigo.es).

² Departamento. de Ciencias y Técnicas del Agua y del M. A., Universidad de Cantabria, 39005 Santander.

³ Departamento. de Física Aplicada, Facultad Ciencias del Mar, Universidad de Cádiz, 11510 Puerto Real.

Resumen: El concepto de perfil de equilibrio es una herramienta útil en el estudio de la morfodinámica de playas. Teniendo en cuenta los diferentes procesos dinámicos que afectan al perfil (rotura y asomeramiento), se propone un modelo de perfil de equilibrio, siguiendo la idea propuesta por Inman *et al.* (1993): perfil en dos tramos. Este modelo ajusta una expresión al tramo de rotura, donde la disipación de energía se debe a la rotura del oleaje y otra expresión al tramo de asomeramiento, donde la disipación se debe a la fricción del oleaje con el lecho. Las formulaciones obtenidas asocian un coeficiente (A y C) a cada tramo del perfil. Dichos coeficientes están asociados al fenómeno de disipación energética y recogen información sobre la morfología del perfil. La validación del modelo con datos de perfiles reales distribuidos a lo largo de la costa española permitió establecer relaciones entre los coeficientes de forma y los parámetros hidrodinámicos y sedimentarios (fundamentalmente, oleaje y tamaño de grano). Dichas relaciones le confieren al modelo capacidad predictiva: conocido el oleaje incidente y el tamaño de grano de una playa, el perfil en dos tramos permite conocer la morfología del perfil de playa resultante.

Palabras Clave: perfil de equilibrio, oleaje, tamaño de grano, costa española

Abstract: The equilibrium profile concept is a useful tool in beach morphodynamics studies. Considering the different dynamics processes that operate along the profile (breaker and shoaling), it is proposed a new equilibrium profile model: two-sections profile. This model fits an expression to the breaker section, where the dissipation is due to the breaker turbulence and other expression to the shoaling section, where the dissipation is due to bottom friction. The obtained formulations associate a dissipation coefficient (A and C) with each section. This coefficients are associated with energy dissipation and hold important morphological information built-in. The model was validated with profiles measured in natural occurring beaches along the spanish coast. The relationships between the form coefficients (A and C) and the hydrodynamic and sedimentary characteristics were also established, using the Dean parameter, $\Omega=H/wT$. These relationships give to the model a predictive capacity: knowing the incident waves and the grain size of the beach, the 2-section model predicts the resultant beach profile morphology.

Key words: equilibrium beach profile, wave climate, grain size, spanish coast

Bernabeu, A.M., Medina, R., Vidal, C. y Muñoz-Pérez, J.J. (2001): Estudio morfológico del perfil de playa: modelo de perfil de equilibrio en dos tramos. *Rev. Soc. Geol. de España*, 14 (3-4): 227-236.

Existe, en los últimos años, una tendencia creciente a abordar el estudio de los procesos geológicos compatibilizando el tratamiento clásico de estos problemas con un intento por modelarlos a través de expresiones ampliamente conocidas en otros ámbitos de las Ciencias, teniendo como fin último la cuantificación de estos fenómenos y la determinación de los factores que los controlan.

La modelación matemática de fenómenos naturales litorales ha sido hasta ahora el campo de trabajo de la ingeniería de costas. Su utilidad y aplicación es amplia, pero su planteamiento requiere una simplificación importante del fenómeno estudiado. Hasta ahora, dicha simplificación ha ido en detrimento de los aspectos geológicos, potenciando la influencia de los factores hidrodinámicos. Por ello, estos modelos han sido muy

criticados desde el punto de vista de la geología clásica (Pilkey *et al.*, 1993; Carter y Woodroffe, 1994; Thielert *et al.*, 1995, 2000).

Actualmente, se están llevando a cabo esfuerzos importantes por integrar las variables geológicas en la descripción de estos modelos matemáticos en el campo de la morfodinámica de playas. Así, Muñoz-Pérez *et al.* (1999) presenta un modelo de perfil de playa donde analiza la influencia de un afloramiento rocoso horizontal situado en la zona submareal. Recientemente, Galofré y Medina (2001) analizan la influencia que la distribución granulométrica de la arena de una playa tiene en su morfología y comportamiento.

El objetivo principal de este trabajo es mostrar el potencial de este nuevo tratamiento en algunos campos de la dinámica sedimentaria, donde la incorporación de

datos y conceptos propios de esta ciencia confiere un poder excepcional a las herramientas ingenieriles al dotarlas de un significado geológico preciso, permitiendo su uso en el ámbito científico y práctico.

El concepto de perfil de equilibrio.- En el estudio y seguimiento de playas se asume, de forma implícita, una hipótesis simplificativa considerando como modos de transporte independientes el transporte transversal y longitudinal de sedimentos. Esta simplificación permite introducir dos conceptos morfológicos importantes: la forma en planta y el perfil de playa.

Numerosos trabajos han puesto de manifiesto la importancia que tienen las características y evolución morfológica del perfil de playa para interpretar los procesos costeros y, como consecuencia, para una gestión apropiada del litoral (Dean, 1991; Bodge, 1992; Inman *et al.*, 1993). Así, el perfil de playa es la base tanto para modelos hidrodinámicos que contemplan la evolución del oleaje durante el asomeramiento y rotura, el origen y generación de las corrientes costeras y el transporte de sedimento asociado, como para modelos morfodinámicos donde se analiza la evolución morfológica de la playa o los cambios en la línea de costa, teniendo como ejemplo los modelos GENESIS (Hanson y Kraus, 1989) y SBEACH (Larson y Kraus, 1989).

El perfil de playa puede presentar morfologías variadas a lo largo de la costa. Sin embargo, todos los perfiles mantienen una tendencia general similar, con una mayor pendiente en la zona cercana a la línea de costa y una disminución progresiva de dicha pendiente hacia mar adentro. Esta regularidad ha permitido el desarrollo de diferentes modelos matemáticos que describen, con diferente grado de acierto, un perfil de playa; así como la introducción del concepto de perfil de equilibrio. Larson (1991) define el perfil de equilibrio como la morfología que alcanzará un perfil de playa expuesto a unas condiciones de oleaje constantes, fundamentalmente altura de ola y período, y compuesto por un tamaño de grano determinado. Este concepto asume que las playas responden a las características del oleaje y sedimentológicas ajustando su perfil a una forma que no varía con el tiempo, donde el transporte transversal de sedimento promediado en el tiempo es nulo.

Según esta definición, la existencia de un perfil de equilibrio estático en la Naturaleza es prácticamente imposible, debido a las variaciones constantes de los distintos agentes actuantes (oleaje, marea, corrientes). En sentido estricto, el perfil de equilibrio es un concepto teórico que únicamente será posible alcanzar en el laboratorio, donde las condiciones están controladas. Sin embargo, tal y como indicaba González Rodríguez (1995), las variaciones de los parámetros hidrodinámicos y sedimentológicos en una playa están restringidas a un rango de valores conocidos, por lo que la variabilidad del perfil está limitada. De este modo, existe una morfología del perfil de playa que se presentará con mayor frecuencia, estado modal del perfil de playa, y que consideramos como el perfil de equilibrio dinámico de la playa.

El concepto de perfil de equilibrio es una herramienta útil en el estudio de la morfodinámica de playas, presentando dos aplicaciones principales, una como herramienta de cuantificación y otra como modelo de predicción. Así, en el estudio y seguimiento temporal de una playa, permite cuantificar los cambios morfológicos de primer orden que sufre la misma durante el período de muestreo, fundamentalmente variaciones en la pendiente y en el grado de concavidad del perfil. De este modo, podemos establecer la relación de causalidad entre la morfología del perfil y las condiciones hidrodinámicas (variaciones de altura de ola y período) y sedimentológicas (granulometría y textura) que determinan dicha morfología. Las correlaciones obtenidas confieren una capacidad predictiva al perfil de equilibrio que lo han convertido en una herramienta fundamental en el ámbito de la gestión del litoral. Así, es particularmente útil en el análisis del impacto que las obras ingenieriles (construcción o ampliación de puertos, diques de protección, escolleras, etc.) tienen sobre los procesos de erosión costera o en la determinación, de forma más precisa, del volumen de arena necesario y el coste final de una obra de protección *blanda* como es la regeneración de una playa. Así, el perfil de equilibrio permite analizar los efectos que los cambios en el tamaño de grano de una playa, las variaciones del nivel del mar (Brunn, 1962) o las actuaciones antrópicas tienen sobre la morfología de la playa y, en general, sobre el litoral.

Existen numerosas expresiones del perfil de equilibrio de playa, variando desde una relación lineal simple hasta complicadas relaciones empíricas (Brunn, 1954; Dean, 1977; Bodge, 1992; Komar y McDougal, 1994; Muñoz-Pérez, 1996). Uno de los modelos más utilizados es el perfil de Dean ($h = A \times x^{2/3}$, siendo h la profundidad; x la distancia a la línea de costa y A un coeficiente de forma) tanto por su simplicidad matemática, ya que depende de un único coeficiente de ajuste, como por haber sido contrastado con aproximadamente 500 perfiles medidos a lo largo de la costa estadounidense. A pesar de los esfuerzos llevados a cabo, ninguno de estos modelos es capaz de representar algunas de las características más conocidas del perfil de playa, tales como la interacción existente entre la zona de asomeramiento y la zona de rompientes del perfil, la influencia del clima marítimo (perfiles de invierno-verano) o de la marea en la forma de equilibrio, la importancia de las características texturales de la arena en el comportamiento de una playa o la presencia de barras en el perfil litoral. Bernabeu Tello (1999) desarrolla un modelo de perfil de equilibrio que resuelve alguno de estos aspectos.

Este modelo propone la existencia de dos tramos diferenciados en el perfil, asociados a distintos procesos hidrodinámicos, básicamente rotura y asomeramiento. Dichos procesos generan la disipación de la energía del oleaje incidente sobre el perfil por turbulencia y por fricción con el fondo, respectivamente. Estos dos tramos quedan articulados sobre el punto de rotura del oleaje. El modelo propuesto fue validado con datos de campo recogidos a lo largo de la costa española, lo

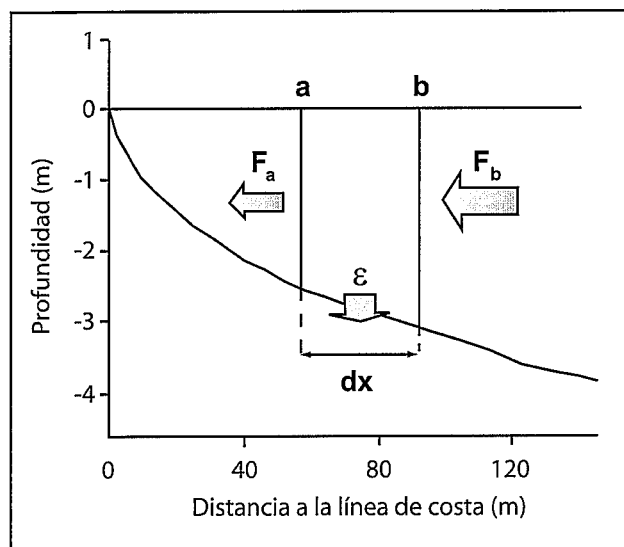


Figura 1.- Variación del flujo de energía incidente del oleaje a lo largo del perfil de playa. F_b es el flujo de energía incidente que atraviesa la sección b , F_a es el flujo de energía incidente que atraviesa la sección a , ϵ es la disipación de energía incidente producida entre las secciones a y b del perfil.

cual permitió utilizar el modelo analítico para estimar la morfología del perfil y establecer relaciones predictivas entre la morfología y las características hidrodinámicas y sedimentológicas de la playa. En este trabajo se exponen los resultados obtenidos de este estudio.

Resultados

Formulación física del modelo

El punto de partida del modelo es la ecuación del balance energético a lo largo del perfil. Esta ecuación

describe la evolución del flujo de energía entre dos secciones consecutivas del perfil, secciones a y b en la figura 1. Así, la diferencia entre el flujo de energía que atraviesa la sección a , F_a , y la sección b , F_b , es debida a los diferentes procesos de disipación de la energía incidente (principalmente, turbulencia debida a la rotura y fricción con el fondo). Para el caso ideal de batimetría regular, con isobatas rectas y paralelas, esta aproximación se expresa como:

$$\frac{dF}{dx} = \frac{F_b - F_a}{b - a} = -\epsilon \quad (1)$$

donde F es el flujo total de energía que atraviesa una sección del perfil en la dirección normal a la costa, ϵ es la disipación por unidad de área y dx es el incremento de distancia a la costa. F_a y F_b son el flujo total que atraviesa la sección a y b , respectivamente.

Teniendo en cuenta la definición de flujo de energía, $F = \frac{1}{8} \rho g h^2 \sqrt{gh}$, donde ρ es la densidad y g es la gravedad, la ecuación de balance energético relaciona tres parámetros importantes: Altura de ola (H), profundidad (h) y disipación (ϵ). Esto ha permitido desarrollar, a partir de la ecuación (1), modelos capaces de describir el comportamiento de cada uno de estos parámetros, conocidos los dos restantes. Un modelo de perfil de equilibrio trata de definir la variación de profundidad o morfología del perfil de playa. Por ello, será necesario asumir un modelo de evolución de la altura de ola y de la disipación de la energía a lo largo del perfil conocidos, que permitan la resolución de la expresión (1).

Thornton y Guza (1983) estudiaron los procesos predominantes de disipación de la energía incidente al aproximarse el oleaje a la costa. El resultado principal

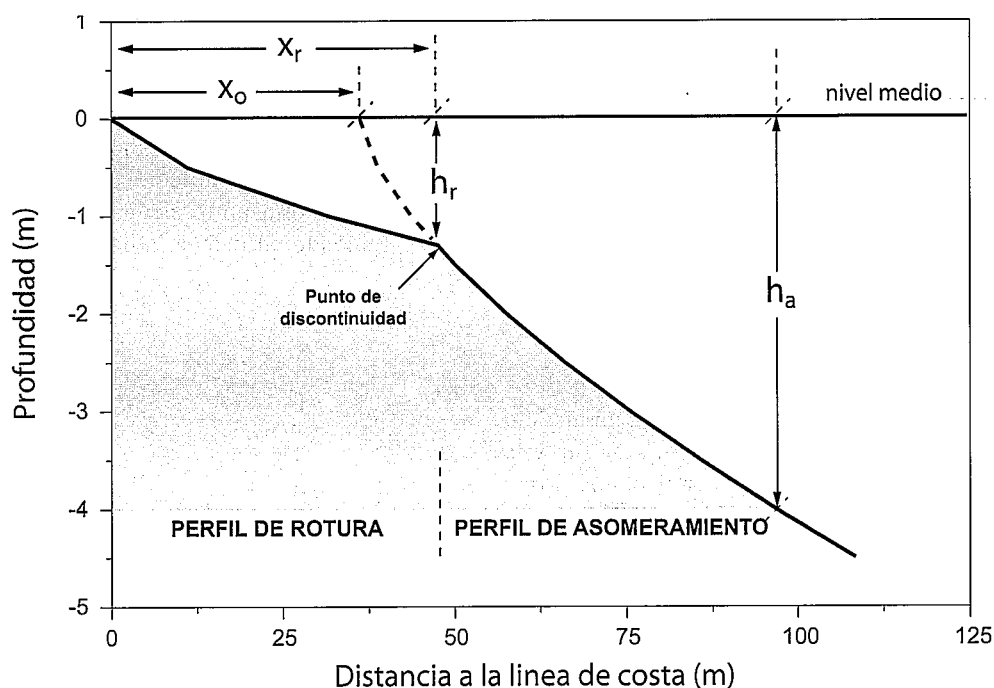


Figura 2.- Esquema del modelo de perfil de equilibrio en dos tramos propuesto: x_r es la distancia horizontal entre el inicio del perfil de rotura sobre la línea de costa y el punto de separación del perfil, h_r es la profundidad del punto de separación, x_o define el desplazamiento del perfil de asomeramiento respecto a un sistema de referencia situado sobre la línea de costa, h_a profundidad límite de validez del modelo propuesto.

