

ANEJO I

DESCRIPCION DEL MODELO DE EVOLUCION DEL PERFIL SBEACH

MODELO DE EVOLUCION DEL PERFIL

Introducción

El cálculo de la respuesta del perfil de playa bajo la acción de tormentas se ha realizado utilizando el modelo de evolución de perfil SBEACH, desarrollado por el US Army Corps of Engineers (Larson y Kraus, 1989; Larson *et al.*, 1990; Wise *et al.* 1996). El modelo permite simular la respuesta de un perfil de playa arbitrario bajo la acción de una tormenta caracterizada a partir de una serie temporal de las condiciones de oleaje (altura, período y dirección) y nivel del mar.

Aunque teóricamente el modelo es capaz de reproducir tanto la respuesta erosiva como la acumulativa del perfil, como en la mayor parte de los modelos de perfil existentes, su mayor fiabilidad radica en la simulación de los procesos de erosión, ya que este tipo de modelos no suele reproducir de forma adecuada la recuperación del perfil de playa. Sin embargo, ya que desde el punto de vista de gestión de la playa el problema consiste en determinar la “erosionabilidad” del perfil, su uso queda suficientemente justificado.

Este modelo ha sido ampliamente verificado y validado con datos de laboratorio y de campo, habiéndose acotado los valores de los diferentes coeficientes involucrados para ser aplicado en condiciones reales (ver *e.g.* Larson *et al.*, 1990; Wise *et al.*, 1996; Franceschini *et al.*, 1999). Por ello, aunque de forma estricta su utilización para un caso específico requeriría su calibración, dada la estabilidad o “robustez” de los valores de dichas constantes o coeficientes involucrados, se asumirá que la respuesta estimada representa adecuadamente el orden de magnitud de la respuesta.

A modo de ejemplo, en la figura 1 se presenta de forma resumida un análisis de la sensibilidad de la erosión que muestran diferentes perfiles de playa para diferentes valores de los principales parámetros libres del modelo (coeficiente de transporte y coeficiente de avalanching). Como puede verse salvo el caso de un perfil de playa con mucha pendiente (Llafranc en figura 1), la variación en el coeficiente de transporte sobre un rango relativamente grande produce variaciones en la erosión de la playa del orden de un 10-15%, lo cual queda dentro del margen de precisión de cualquier modelo de evolución costera y, permite considerar al modelo como robusto en cuanto a que

variaciones de los parámetros no producen una variación excesivamente alta de los resultados. En el caso de la sensibilidad al coeficiente de *avalanching*, el modelo se comporta más estable que en el caso anterior, por lo que a priori los resultados que se obtendrán con el modelo pueden considerarse como representativos del orden de magnitud de la respuesta de la playa.

El modelo consiste en tres módulos: propagación de oleaje, cálculo de las tasas de transporte y estimación de la evolución morfológica del perfil. Una descripción detallada de sus fundamentos y estructura puede verse en Larson y Kraus (1989) y Wise *et al.*, (1996) y, a continuación se describen brevemente los diferentes módulos.

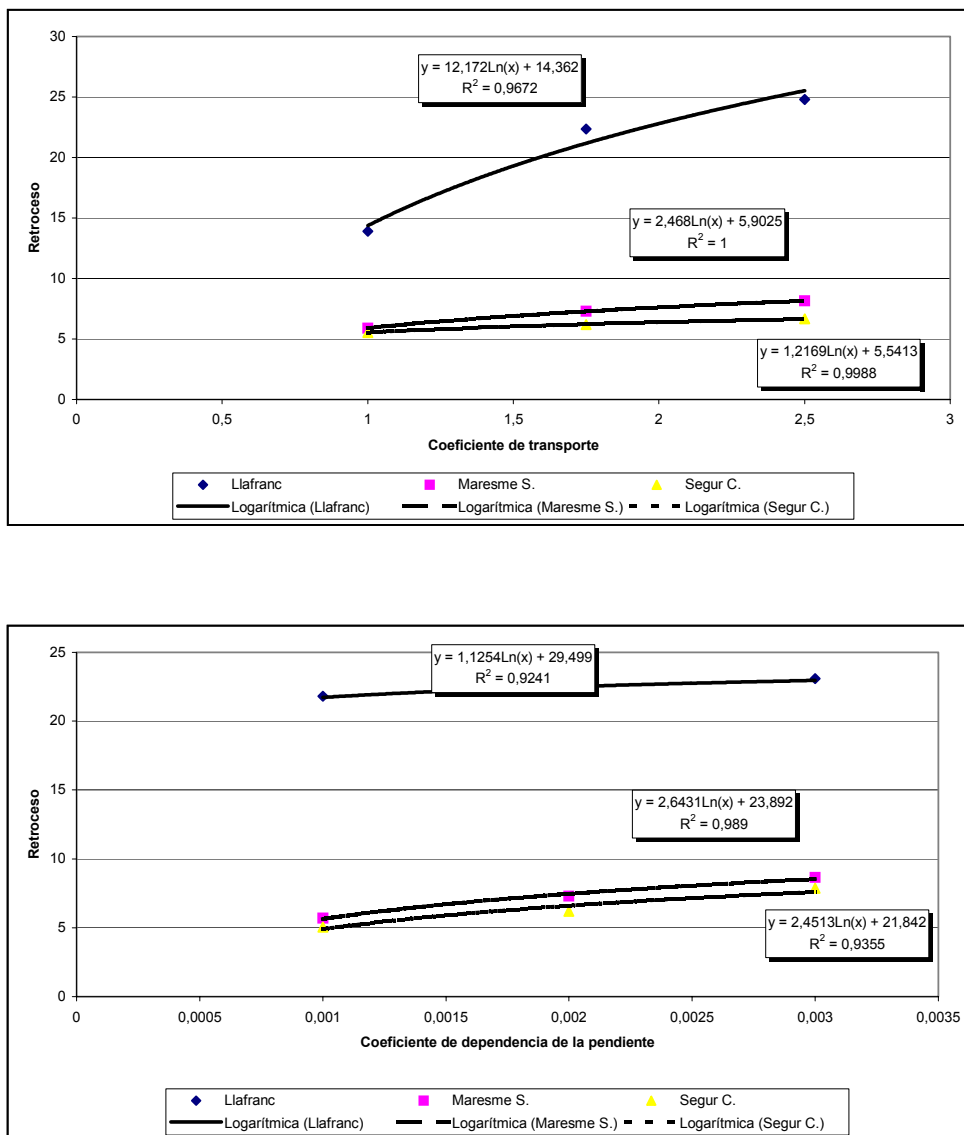


Figura 1. Análisis de sensibilidad de la erosión de la línea de orilla predicha por SBEACH en función del coeficiente de transporte (superior) y del coeficiente de "avalanching" (Pérez, 2002).

Modelo de oleaje

El modelo de propagación de oleaje utilizado en SBEACH es una versión generalizada del modelo de Dally *et al.*, (1985). Fuera de zona de rompientes, la altura de ola local y el ángulo son calculados a partir de la conservación del flujo de energía y de la Ley de Snell. Dentro de la zona de rompientes, se incluye la disipación de energía debido a la rotura del oleaje, la cual se asume que es proporcional a la diferencia entre el flujo de energía incidente, F , y un flujo de energía estable, F_s , por debajo del cual no hay “decay” (disipación).

La versión generalizada del modelo para fondo arbitrario viene dada por

$$\frac{\partial (F \cos\theta)}{\partial x} + \frac{\partial (F \sin\theta)}{\partial y} = -\frac{\kappa}{d} (F - F_s)$$

donde

F es el flujo de energía,

F_s es el flujo de energía estable

θ es el ángulo del oleaje respecto a las isobatas

κ es un coeficiente empírico de *decay*

d es la profundidad total, siendo $d = h + \eta$ y es la elevación del nivel medio del mar debido a la presencia de olas (*wave set-up* o *set-down*).

El flujo de energía es calculado mediante teoría lineal

$$F = \frac{1}{8} \rho g H_b^2 C_g$$

y el flujo de energía estable es el asociado a una altura de ola estable que viene determinada por fondo a través de

$$H_s = \Gamma h$$

siendo Γ un coeficiente empírico. Asumiendo que las condiciones de oleaje son longitudinalmente uniformes y que las batimétricas se pueden considerar localmente

rectas y paralelas, la ecuación general se reduce a

$$\frac{d(F \cos \theta)}{d x} = -\frac{\kappa}{d} (F - F_s)$$

La variación del nivel medio del mar debido a la presencia de las olas es determinada a partir de la ecuación de momentum

$$\frac{d S_{xx}}{d x} = -\rho g (h + \eta) \frac{d \eta}{d x}$$

donde S_{xx} es la componente transversal del tensor de radiación que viene dado por teoría lineal como

$$S_{xx} = \frac{1}{18} \rho g H^2 \left[n (\cos^2 \theta + 1) - \frac{1}{2} \right]$$

Por último, la Ley de Snell viene dada por

$$\frac{\sin \theta}{L} = 0$$

La versión del modelo utilizado es la que incluye la propagación de oleaje irregular, la cual partiendo de las expresiones presentadas anteriormente las adapta asumiendo la validez de una distribución Rayleigh para las alturas de ola (Larson 1995; Wise et al., 1996).

Tasas de transporte de sedimento

SBEACH calcula las tasas de transporte de sedimento transversal de forma diferenciada según el régimen hidrodinámico dominante a través del perfil, para lo cual divide el perfil de playa en 4 zonas (figura 2).

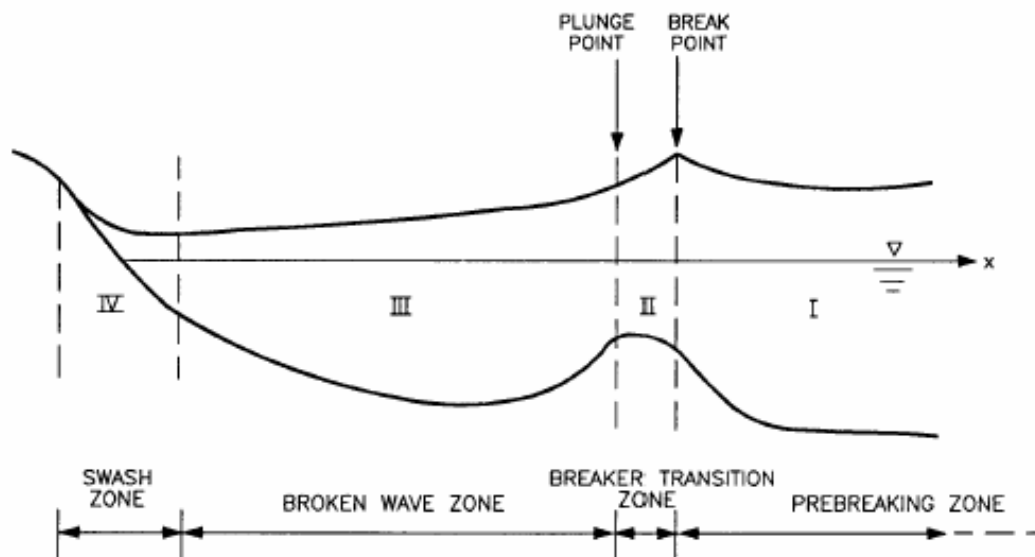


Figura 2. Zonificación del perfil para el cálculo de las tasas de transporte en función de la hidrodinámica dominante (Larson y Kraus, 1989).

La zona I se extiende desde el límite externo desde donde se produce el transporte de sedimento hasta el punto de rotura. En esta zona, el transporte se calcula mediante la expresión

$$q = q_b \exp[-\lambda_1 (x - x_b)] \quad \text{para } x_b < x$$

donde λ_1 es un coeficiente de decay espacial, q_b es la tasa de transporte neto evaluada en el punto de rotura y x_b es la posición del punto de rotura.

La zona II se extiende desde el punto de rotura hasta el punto de “plunging” y se conoce como la zona de transición. En esta zona, el transporte se calcula mediante la expresión

$$q = q_p \exp[-\lambda_2 (x - x_p)] \quad \text{para } x_p < x < x_b$$

donde λ_2 es un coeficiente de decay espacial, q_p es la tasa de transporte neto evaluada en el punto de plunging y x_p es la posición de dicho punto.

La zona de rotura III (en la figura 2) se extiende desde el punto de plunging hasta la zona de swash y, el transporte transversal de sedimento es calculado siguiendo una aproximación similar a la desarrollada por Kriebel y Dean (1985) en la que se hace uso

del concepto de equilibrio. Así, el transporte es proporcional a la desviación de la disipación de energía del oleaje, D , con respecto a la que se produciría caso de que el perfil estuviese en equilibrio, D_{eq} , añadiéndole un término corrector para tener en cuenta el efecto de la pendiente del fondo

$$q = \begin{cases} K \left(D - D_{eq} + \frac{\varepsilon}{K} \frac{dh}{dx} \right) & D > D_{eq} - \frac{\varepsilon}{K} \frac{dh}{dx} \\ 0 & D < D_{eq} - \frac{\varepsilon}{K} \frac{dh}{dx} \end{cases}$$

donde ε es un coeficiente empírico para el transporte relacionado con la pendiente del perfil.

Por último, la zona IV se extiende desde el límite más interno de la zona de rotura hasta el la parte más interna del perfil hasta donde llegan las olas, delimitada por el remonte del oleaje. En esta zona se evalúa el transporte mediante una función lineal en la que el transporte se hace variar desde el valor que alcanza en el límite interno de la rotura hasta 0 que sería el valor que toma en el punto más interno del perfil dado por el remonte de las olas, z_r , que viene dada por

$$q = q_z \left[\frac{x - x_r}{x_z - x_r} \right]$$

La versión del modelo utilizado incluye la posibilidad de la existencia de rebase del oleaje sobre la parte interna de la playa en cuyo caso, la anterior condición de contorno deja de ser válida (cuando el remonte es superior a la altura de la berma) calculándose el transporte que se produce (hacia tierra) en la parte rebasada mediante una expresión empírica (Wise et al., 1996).

Dado que la versión utilizada es para oleaje irregular, las expresiones para el cálculo del transporte presentadas son aplicadas ola a ola asumiendo una distribución Rayleigh y promediando al total de las olas (ver detalles en Wise et al., 1996).

Modelo de evolución morfológica

Una vez calculadas las tasas de transporte transversal a lo largo del perfil, se evalúa la evolución temporal de éste resolviendo la ecuación de continuidad, que viene dada por

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial x}$$

Las condiciones de contorno impuestas en el modelo son de transporte neto nulo en sus dos extremos, i.e. el límite de acción de las olas en la playa emergida (dado por el remonte de las olas) y, en la zona externa a la profundidad donde se evalúe que el transporte es despreciable.

La ecuación se resuelve numéricamente mediante un esquema en diferencias finitas dado por

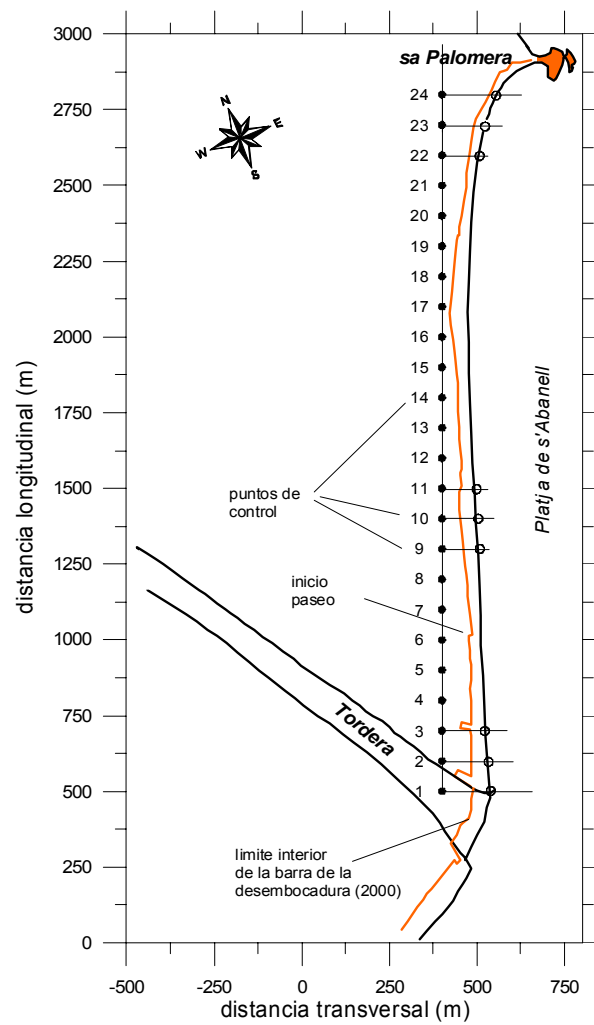
$$\frac{h_i^{k+1} - h_i^k}{\Delta t} = \frac{1}{2} \left[\frac{q_{i+1}^{k+1} - q_i^{k+1}}{\Delta x} + \frac{q_{i+1}^k - q_i^k}{\Delta x} \right]$$

donde el superíndice k se refiere al tiempo, el subíndice i indica la posición, Δx es el tamaño de malla y Δt es el paso de tiempo.

En la zona de swash (zona IV) el modelo incluye la posibilidad de “avalanching” para evitar que la pendiente local resultante de la evolución en un paso de tiempo determinado exceda la pendiente estable del sedimento (ángulo de reposo).

ANEJO II

DESPLAZAMIENTOS DE LINEA DE ORILLA A LO LARGO DE LA PLAYA DE S'ABANELL DURANTE EL PERIODO 1957-2004

Zona de estudio (playa de s'Abanell) y puntos de control.

Desplazamiento de la línea de orilla en la zona de actuación (ver localización de los puntos de control figura 1) desde el año 1957 al 2004.

