

4. MODELO DE EVOLUCIÓN COSTERA

Los modelos numéricos son una herramienta típica usada por los ingenieros para comprender y predecir la evolución en el plano y de perfiles en las playas. Estos modelos permiten cuantificar los cambios, detectar tendencias en la evolución de la costa, así como decidir las soluciones más adecuadas en cada caso. Los resultados obtenidos deben ser correctamente interpretados, ya que estos modelos tienen limitaciones debidas a la complejidad y el desconocimiento del funcionamiento de los procesos de evolución de la costa. Cada modelo tiene una escala temporal y espacial adecuadas y por tanto, no deben ser usados fuera de sus rangos de aplicabilidad.

Estos modelos se encuentran en la mayoría de los casos en fase de desarrollo, por este motivo hasta los últimos años su uso se restringía al mundo científico, aunque actualmente ya se han empezado a emplear en el desarrollo de proyectos reales. Las ecuaciones completas que describen las olas, las corrientes y la evolución de la costa son tridimensionales y dependen del tiempo. El estudio de estas ecuaciones está todavía en desarrollo y por ese motivo no son usadas de forma habitual por los ingenieros.

Todos estos modelos se basan en establecer la ecuación de continuidad de la masa de sedimento entre celdas contiguas. Cuanto más especializado es el modelo tiene en cuenta para establecer este equilibrio mayor número de flujos entrantes o salientes.

Los modelos más usados y más sencillos son los de una dimensión, puede ser en planta que corresponde a los modelos de una-línea o en perfil que corresponde a los modelos de perfil. En los modelos de una-línea se estudia la evolución de la costa empleando únicamente una línea que suele ser la de orilla y se supone que los perfiles son uniformes a lo largo de todo el tramo de estudio. Estos modelos utilizan una fórmula integrada del transporte, ya que no lo tienen que separar en distintas zonas. Los modelos de una-línea son adecuados para playas longitudinalmente uniformes y se pueden utilizar en escalas de tiempo relativamente grandes, años, esta es una de sus principales ventajas ya que el resto de modelos sólo nos permiten simular periodos de tiempo cortos, semanas.

Una extensión del modelo de una-línea son los modelos de dos-líneas o de n-líneas. Estos modelos aportan mayor información y permiten cambios en el perfil, aunque tiene un inconveniente importante derivado de su propia estructura. Este inconveniente es la necesidad del cálculo del transporte local, ya que al separar el dominio en varias franjas es necesario determinar que fracción de sedimento pasa por cada una de ellas y en la mayoría de los casos es desconocida.

El resto de modelos son los 2DH o 3D, según si están verticalmente integrados o no. Estos modelos discretizan el espacio en una malla e imponen las ecuaciones de continuidad en cada una de las celdas. Son los modelos más completos, sin embargo el coste computacional es elevado y sólo se utilizan para cortos periodos de tiempo. Además, el error introducido por el desconocimiento de parámetros como la fricción en el fondo, la

turbulencia o la distribución del transporte de sedimentos puede llevar a resultados poco coherentes si se utiliza para largos periodos, debido a que el error puede ser amplificado a lo largo de la simulación.

4.1.Descripción del modelo de una-línea

Los modelos de una-línea son los más usados como ya se ha mencionado anteriormente, ya que se pueden modelar periodos relativamente largos. Asumen que el perfil de la playa es constante a lo largo de la costa y estudian únicamente la evolución de la línea de orilla. El modelo GENESIS es uno de los más importantes, aunque existen muchos más modelos de este tipo. (e.g., Hanson y Kraus 1989)

Los modelos de una-línea han sido usados con éxito en un gran número de ocasiones. Este tipo de modelos consideran que el perfil se desplaza paralelo a la línea de orilla; esta afirmación es una mejor aproximación si el perfil se encuentra próximo a su estado de equilibrio.

La formulación de estos modelos está basada en la ecuación de conservación de la masa en las celdas en que se subdivide la línea de estudio que suele ser la línea de orilla. Además, se asume que existe una profundidad de cierre a partir de la cual los cambios en el perfil ya no son significativos. El perfil se mueve perpendicular a la línea de orilla entre la cota de coronación de la berma, D_B , y la profundidad de cierre, D_C . Esto implica que el sedimento sea distribuido de forma uniforme a lo largo de la porción de perfil. Así el incremento de volumen en una celda se expresa como $(D_C + D_B) \Delta x \Delta y$, donde Δx es el movimiento perpendicular a la línea de orilla y Δy es el paralelo. Por tanto, la conservación de sedimento en una celda puede formularse como:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} + \frac{1}{D_B + D_C} \left(\frac{\Delta Q}{\Delta y} \pm q \right) = 0, \quad (4.1)$$

donde Q es la tasa de transporte longitudinal, q son los flujos de sedimento transversales (término fuente o sumidero) y t es el tiempo.

La ecuación de continuidad se resuelve empleando un método de diferencias finitas, aproximando las derivadas respecto al tiempo mediante el método explícito de Euler y las derivadas del transporte longitudinal mediante diferencias centradas. En la aproximación por diferencias centradas el orden del error es mayor y por tanto, la aproximación es mejor.

La elección del paso de tiempo y del incremento del espacio no es independiente, ya que para ser estable es necesario que cumpla una relación de estabilidad en la que se relaciona Δx , Δt , y la tasa de transporte dentro de cada celda.

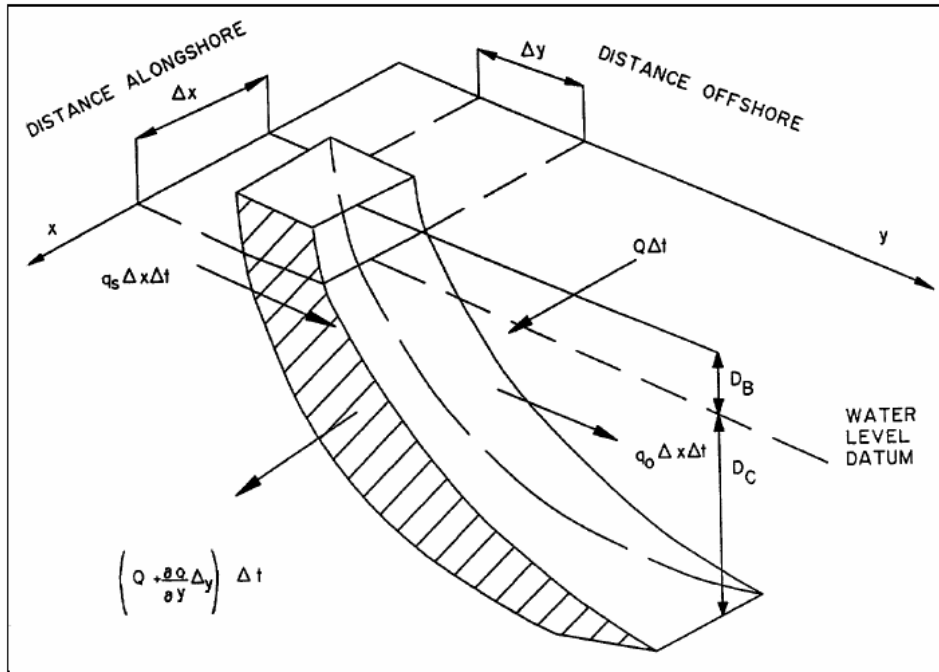


Figura 4.1. Equilibrio de flujos de sedimento en una celda de estudio. (Fuente: Coastal Engineering Manual.)

La tasa de transporte longitudinal se suele evaluar mediante la fórmula del CERC, corregida por Osaza y Brampton (1980) para tener en cuenta los gradientes longitudinales de altura de ola. La formulación es la siguiente:

$$Q = H_{bs}^2 C_{gb} \left(AK_1 \sin 2\alpha_b - \frac{B}{\tan \beta} K_2 \cos \alpha_b \frac{dH_{bs}}{dx} \right) \quad (4.2)$$

donde, A y B son parámetros adimensionales,
 α_b es el ángulo en rotura,
 H_{bs} es la altura de ola significativa en rotura,
 C_{gb} es la velocidad de grupo en rotura,
 K_1 y K_2 son las constantes del transporte,
 β es la pendiente de la playa.

El primer término de la ecuación corresponde al transporte longitudinal producido por la oblicuidad del oleaje incidente. El segundo corresponde a otro proceso de generación de transporte longitudinal que es el gradiente de alturas de ola en rotura. Este término suele ser mucho menor que el primero, sin embargo, en la proximidad de estructuras donde la difracción es capaz de crear diferencias importantes en la altura de ola, este término puede tener un mayor peso.

Otra de las consideraciones importantes a tener en cuenta en un modelo de este tipo son las condiciones de contorno. Las más habituales son un valor nulo del transporte longitudinal ($Q = 0$), un valor constante del transporte longitudinal, valor nulo del flujo del transporte ($dQ/dy = 0$) o un valor constante del flujo. Resulta complicado determinar estas condiciones salvo en casos donde tenemos estructuras suficientemente largas o playas encajadas para asegurar que el transporte será nulo o zonas donde el cambio de la línea de orilla ha sido inapreciable durante años y por tanto podemos asignar un valor del gradiente nulo.

4.2 Simulación de diques paralelos

Para simular el efecto de un dique exento en el modelo se deben tener en cuenta varios aspectos, entre ellos los más importantes son la limitación del perfil activo, la modificación del campo de alturas de ola en el área protegida y la modificación del ángulo del oleaje inducida por la presencia del dique.

Para implementar estos efectos se han seguido distintas estrategias que se exponen a continuación.

4.2.1. Limitación del perfil activo

La limitación del perfil activo consiste en considerar que en los nodos tras el dique la profundidad activa, que es la profundidad en la que los cambios del perfil dejan de ser perceptibles, está limitada a la profundidad del pie de obra. Esta limitación implica que para producir un cambio en la línea de orilla es necesario un menor volumen de sedimento que para producirlo en la zona desprotegida. Esto hace que la respuesta en la línea de orilla se amplifique con respecto a las zonas no protegidas.

4.2.2. Campo de oleaje en el trasdós del dique

4.2.2.1. Modificación en el campo de alturas

Otro aspecto importante a tener en cuenta en la simulación es la modificación del campo de alturas de ola. Debido al efecto de la difracción la altura de ola en el trasdós es menor a la de la zona expuesta, pero a medida que nos alejamos del caso de dique no rebasable y la transmisión aumenta este efecto de disminución será menor. Este hecho implica que en el caso de tener mayor transmisión los gradientes de altura de ola serán menores y por tanto el tamaño del saliente también será menor.

Para incluir este proceso en el modelo se calculan en primer lugar los coeficientes de difracción mediante un modelo numérico de propagación asumiendo difracción pura, es decir, estructura no rebasable. Una vez calculados los coeficientes de difracción la altura de ola en el trasdós del dique se calcula como :

$$H = H_i K_{dt}, \quad (4.3)$$

donde el coeficiente K_{dt} tiene en cuenta el efecto de la difracción y de la transmisión. Para evaluar este coeficiente se han empleado dos métodos. En el primer método el coeficiente K_{dt} viene dado por la expresión:

$$K_{dt} = \sqrt{K_d^2 + K_t^2}, \quad (4.4)$$

donde K_t es el coeficiente de transmisión que se calcula mediante las fórmulas implementadas de la transmisión, Van der Meer (1990) o D'Angremont et al.(1996) y K_d es el coeficiente de difracción correspondiente a una estructura no rebasable. Para que el valor del coeficiente no supere la unidad simplemente se trunca su valor. El segundo método es más realista, ya que a medida que crece el coeficiente de transmisión se modifica el coeficiente de difracción reduciendo el valor que se obtiene para un dique no rebasable. Se sabe que este proceso ocurre en la realidad pero no se conoce en que medida disminuye un coeficiente en función del otro, por tanto se ha tomado la aproximación más simple que corresponde a una dependencia lineal. Las fórmulas implementadas son :

$$K_{dt} = \sqrt{K_{dmod}^2 + K_t^2}, \text{ donde } K_{dmod} = K_d(1 - K_t) \quad (4.5)$$

donde K_t es el coeficiente de transmisión y K_{dmod} es el coeficiente de difracción modificado por el aumento de transmisión.

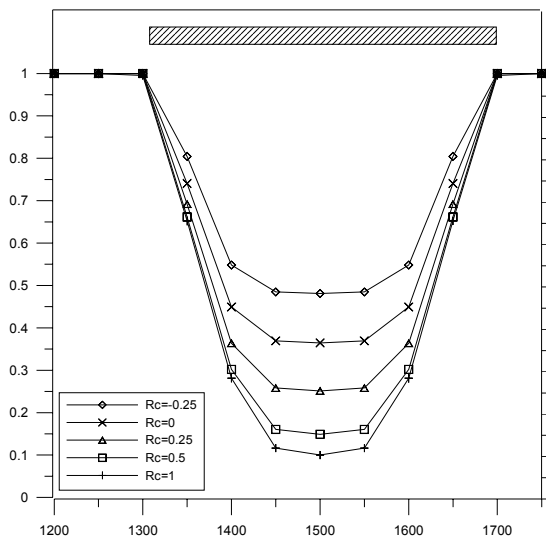


Figura 4.2. Modificación de la altura de ola incluyendo el efecto de la transmisión. (Fuente: Elaboración propia.)

4.2.2.1. Modificación del ángulo del oleaje

Por último, otro de los aspectos que se debe tener en cuenta en la simulación del dique es la modificación en la dirección del oleaje debida a la transmisión y a la difracción. En el trasdós del dique los frentes del oleaje tienden a ponerse perpendiculares al dique debido al

efecto de la difracción, este proceso tiende a disminuir cuando aumenta la transmisión y nos alejamos del caso de diques no rebasables.

Como en el caso anterior, en primer lugar se calculan las direcciones correspondientes al caso de difracción pura empleando el modelo de propagación. Una vez obtenidas estas direcciones se aplica un factor corrector proporcional a la transmisión en la zona afectada por la presencia del dique. (Si $R_c/H_s < -2$ se considera que la dirección del oleaje no se ve perturbada por la presencia del dique y es la misma que en el área expuesta).

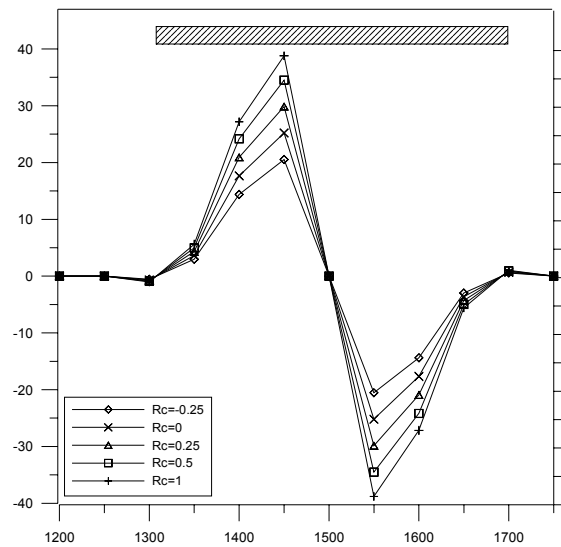


Figura 4.3. Modificación del ángulo del oleaje incluyendo el efecto de la transmisión. (Fuente: Elaboración propia).