

5. SIMULACIÓN DE LA EVOLUCIÓN COSTERA PARA DIQUES DE BAJA COTA DE CORONACIÓN

5.1. Análisis de sensibilidad frente a la variación de los parámetros

Una vez implementado el efecto producido por la presencia de un dique exento, introduciendo en el modelo los parámetros necesarios, se obtendría como resultado una configuración concreta de la línea de orilla. Sin embargo, se sabe que esta configuración está sujeta a una franja de error. Por ello, se pretende analizar cual es esta franja para así determinar la precisión de los resultados.

Para determinar el error cometido en el cálculo de la configuración de la línea de orilla se realizará una simulación numérica asignando a cada una de las variables una distribución probabilística. Esta distribución se establecerá según valores reales y conocimiento de las variables. En esta simulación se tendrá en cuenta únicamente la incertidumbre en los parámetros que afectan al cálculo de la transmisión, por tanto para tener una cota completa del error sería necesario realizar otro estudio en el que se simularan también el resto de variables.

En este caso, se realizará el estudio sobre la fórmula empírica de D'Angremont et al. (1996) que deduce el coeficiente de transmisión en diques a partir de ciertos parámetros geométricos y del oleaje como hemos visto anteriormente. Una vez conocida la distribución simulada podremos conocer el intervalo de valores más probables para el coeficiente de transmisión, para un cierto valor dado de los parámetros.

5.1.1. Determinación de las distribuciones de probabilidad de los parámetros

La fórmula obtenida por Angremont et al. (1996) para calcular el coeficiente de transmisión es:

$$K_t = -0.4 \frac{R_c}{H_{si}} + \left(\frac{B}{H_{si}} \right)^{-0.31} (1 - e^{-0.5I_r}) \cdot 0.8 \quad (5.1)$$

donde,

B: ancho de coronación

R_c: francobordo (distancia de la coronación al nivel medio del mar en reposo)

H_{si}: altura de ola significativa

I_r: parámetro de Iribarren

La altura de ola significativa se tomará como un valor dado, ya que para una cierta altura queremos determinar el valor del coeficiente que a su vez determina el valor de la altura transmitida.

Tanto el francobordo como el ancho de coronación son parámetros geométricos y por tanto supondremos que se distribuyen según una normal. Como media de la distribución se tomará un valor típico y como desviación el valor del error que se puede cometer al tomar la medida.

En el caso del ancho de coronación se tomará como media un valor de 6 m, se toma este valor debido a que es un valor típico que se emplea en muchos diseños, ya que corresponde al ancho necesario para el cruce de dos camiones durante la construcción, no obstante se podría escoger como media el valor fijado en nuestro caso si se tratase de un diseño concreto. Como desviación se tomará un valor de 1m, ya que se mide según el número de bloques de escollera que conforman la coronación y por tanto, la desviación respecto al valor fijado puede ser grande.

Para el francobordo se tomará un valor medio de 0 m, ya que se trata de un dique de baja cota de coronación. La desviación se tomará con un valor de 0.5 m, debido a los errores de construcción, y además se debería tener en cuenta que en el momento de la construcción el nivel del mar no es el de referencia, ya que puede estar modificado por fenómenos como las mareas meteorológicas, mareas astronómicas o por la acción del viento.

Por último, falta conocer la distribución del coeficiente de Iribarren que se calcula como:

$$\zeta = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L}}, \quad (5.3)$$

donde α es el ángulo del talud con la horizontal y H/L es el peralte del oleaje.

La pendiente del talud es independiente de los otros dos parámetros y por lo tanto se supondrá que sigue una distribución normal con un cierto valor medio fijado en el diseño y una desviación producida por errores de construcción. La distribución del parámetro H/L no es conocida pero se dispone de 3000 datos de altura y longitud de onda tomados simultáneamente a lo largo de un año en la costa catalana.

En este caso, dado que se ha fijado la altura de ola sólo interesan aquellos valores de la longitud cuya $H = 1$ m, sin embargo debido a que la altura está tomada por una bolla y por lo tanto se comete un cierto error, se tomarán todos los valores de la longitud que tengan una altura de ola comprendida entre 0.9 m y 1.1 m. Una vez descartados los valores que no cumplen esta condición quedan más de 200 datos y por tanto serán suficientes para poder realizar la simulación.

5.1.2. Simulación de las distribuciones de probabilidad de los parámetros

Para simular cada una de las distribuciones de los parámetros se ha empleado un generador de números aleatorios con el que se ha simulado una uniforme a la que se ha aplicado la distribución inversa de la distribución del parámetro. Una vez simuladas cada una de las variables se ha obtenido una simulación de la media y la desviación del coeficiente de transmisión, así como el histograma y valores de los percentiles del 25% y 75%. Para

obtener el histograma se han substituido los valores negativos por nulos, ya que no tienen sentido físico y eran muy cercanos a 0.

5.1.3. Análisis de los resultados

Tanto los valores de la media de la distribución como los de la desviación se han estabilizado como puede verse en la Figura 6.1., y por tanto puede decirse que existen y tienen un cierto valor.

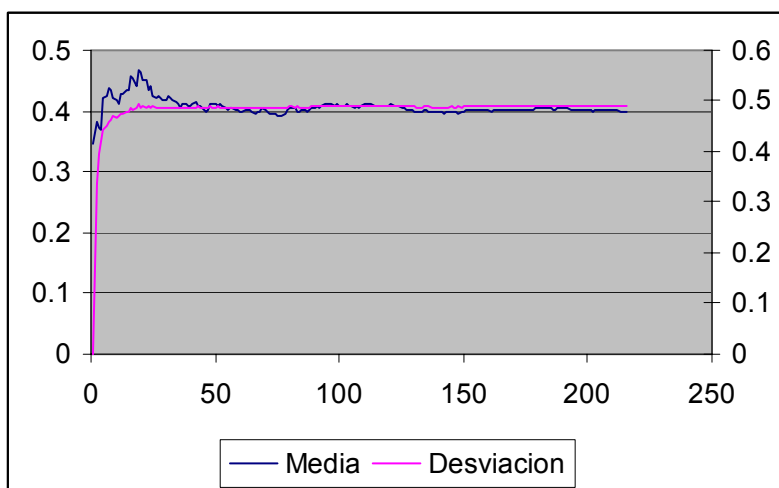


Figura 5.1. Media y desviación del coeficiente de transmisión. (Fuente: Elaboración propia.)

La dispersión en la distribución es elevada tal y como se observa en la Figura 6.2, ya que el coeficiente toma todos sus posibles valores y el rango de valores entre el 25% y 75% de probabilidad también es amplio ya que va de (0.289, 0.524) y esto supone que pasa un 30% más de energía en un caso que en otro.

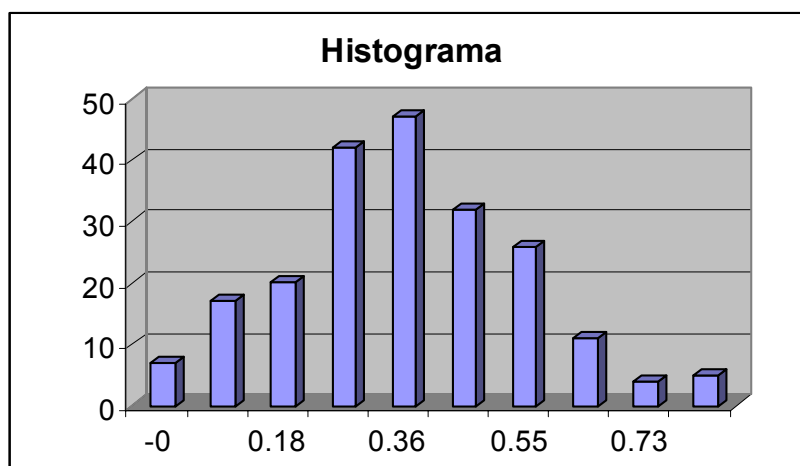


Figura 5.2. Histograma de la distribución del coeficiente de transmisión. . (Fuente: Elaboración propia.)

Resumen de los resultados obtenidos:

Media	Desviación	Percentil (25%)	Percentil (75%)
0.400	0.489	0.289	0.524

Tabla 5.1. Resumen de los estadísticos de la distribución del coeficiente de transmisión. (Fuente: Elaboración propia.)

5.1.4. Análisis de la sensibilidad según el tipo de diseño

Como ya hemos visto, la sensibilidad del coeficiente de transmisión frente a la incertidumbre en los parámetros es bastante elevada. Puede ser interesante conocer esta sensibilidad en distintos tipos de diseño como por ejemplo en los diques sumergidos, emergidos o semisumergidos. Para ello simplemente es necesario obtener los intervalos donde se mueve el coeficiente de transmisión para distintos francobordos.

En este caso se analizará el resultado para valores del francobordo de $R_c = 0.5$ m (caso emergido), $R_c = 0$ m (caso semisumergido) y $R_c = -0.5$ m (caso sumergido).

Las distribuciones para el caso emergido y sumergido son:

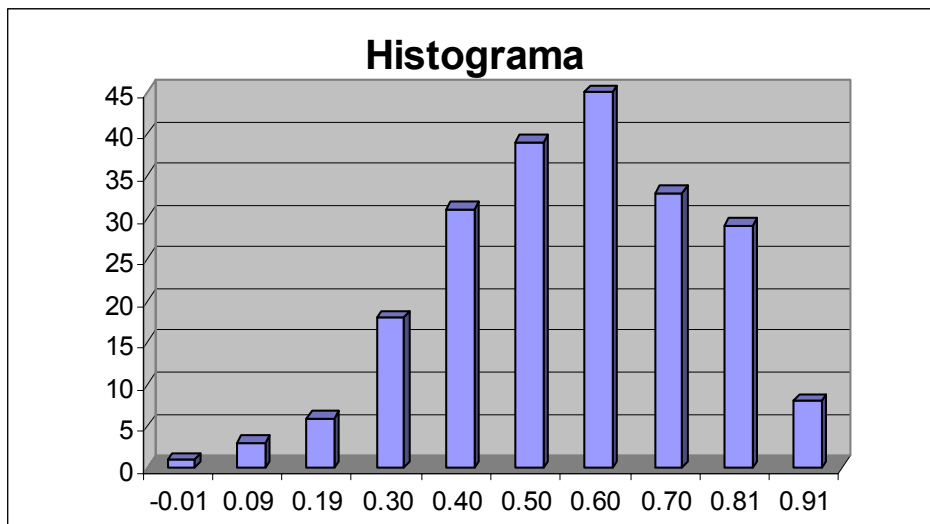


Figura 5.3. Histograma (Caso sumergido $R_c = -0.5$ m). (Fuente: Elaboración propia.)

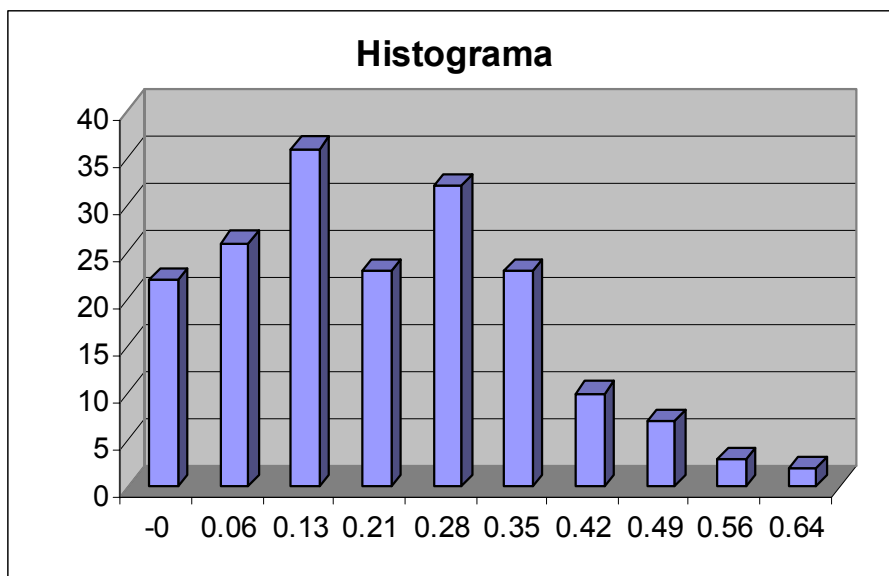


Figura 5.4. Histograma (Caso emergido $R_c = 0.5$ m). (Fuente: Elaboración propia.)

Resumen de los resultados obtenidos:

R_c (m)	Media	Desviación	Percentil (25%)	Percentil (75%)
0	0.400	0.489	0.289	0.524
-0.5	0.608	0.487	0.478	0.754
0.5	0.211	0.408	0.066	0.323

Tabla 5.2. Resumen de estadísticos de la distribución del coeficiente de transmisión para los distintos francobordos. (Fuente: Elaboración propia.)

Tal y como se puede observar en la tabla los valores de la desviación son parecidos. Los rangos de valores en los que se mueve la variable son distintos para cada caso pero el tamaño del intervalo es muy parecido y amplio, lo que indica que en todos los casos que la sensibilidad frente a la incertidumbre de los parámetros es grande, pudiendo llegar a pasar un 30% más de energía.

5.1.5. Error inducido en la configuración de la línea de orilla

Con los resultados obtenidos, se puede determinar en que rango se moverá la línea de orilla debido a la indeterminación de los parámetros y por tanto, qué sensibilidad tiene el modelo frente a estas variaciones.

La configuración de la línea de orilla se moverá de forma más probable entre el rango de probabilidad del 25% y del 75%. Esta se establecerá como la franja de error asignada a la configuración obtenida

En este caso se analizará un tramo de costa de 3000 m, con presencia de un dique exento paralelo a la costa, a 300m de la línea de orilla y con una longitud de 300 m. Las

condiciones de oleaje vienen dadas por una altura $H = 1$ m y un oleaje con incidencia perpendicular a la línea de orilla.

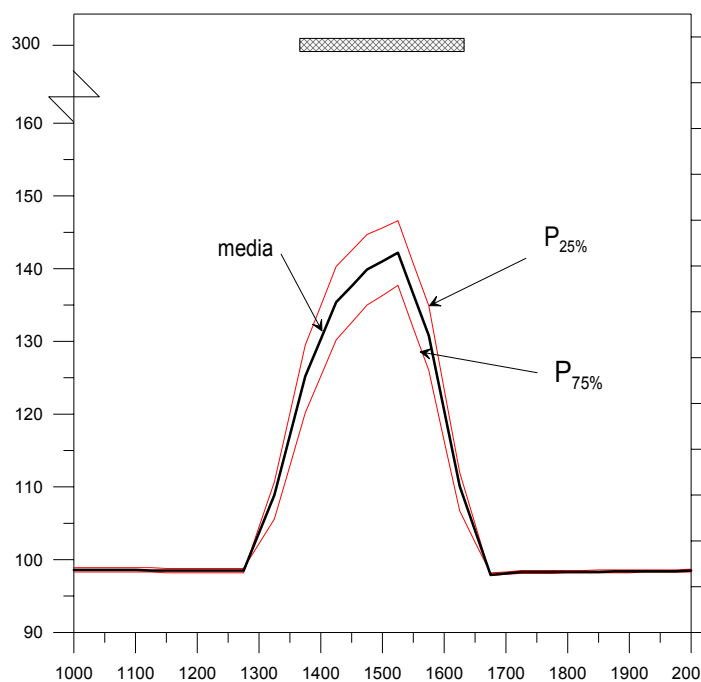


Figura 5.5. Configuración de la línea de orilla y rango predicho de error. (Fuente: Elaboración propia.)

Tal y como se puede observar en la Figura 5.5. la posición final puede llegar a diferir en 10 m debido a los posibles errores introducidos en el cálculo de los parámetros. La posición original de la línea de orilla era paralela al dique a una distancia de 200 m, debido a la presencia del dique se modifica en 42.2 m como media y se encuentra en un rango entre (37.7, 46.6) metros correspondiente a los percentiles del 25% y el 75%. Ambas medidas suponen una diferencia de longitud mayor al 10% de la longitud obtenida con la media.

Como conclusión se puede afirmar que aunque el error en el cálculo de la transmisión podía llegar a ser del 30%, el efecto en el cálculo de la línea de orilla se ve disminuido a un error como máximo del 10%. Por último, no se debe olvidar que este error sólo corresponde al inducido por la transmisión y por tanto para obtener un rango completo del error se debería realizar otra simulación.

5.2. Evolución de la costa en función del francobordo

Tal y como se ha expuesto anteriormente, el tamaño del saliente inducido por la presencia del dique disminuye a medida que disminuye el francobordo, es decir, a medida que aumenta la transmisión. Para observar este efecto se analizarán los resultados obtenidos a partir del modelo para un dique y una playa con la siguientes características:

- longitud del tramo de estudio = 3000 m
- período de evolución = 1 año

- condiciones de contorno : $\partial S/\partial y = 0$ en ambos extremos
- profundidad de cierre = 6 m
- altura de la berma = 0.5 m
- pendiente de la playa = 1/50
- longitud del dique = 300 m
- ancho de coronación = 6 m
- talud del dique = 1/2
- distancia a la línea de orilla = 300 m
- profundidad del dique = 4 m
- francobordo relativo: entre $R_c/H = 0$ y $R_c/H = 1$

Se estudiará la evolución del saliente frente a un oleaje con incidencia perpendicular y otro con incidencia oblicua. Para calcular el coeficiente de transmisión se ha usado la fórmula de D'Angremont et al. (1996) y para calcular el coeficiente K_{dt} se han empleado los dos métodos expuestos anteriormente, el método original (1) y el modificado (2).

5.2.1. Incidencia del oleaje perpendicular a la línea de orilla

La Figura 5.6 muestra la evolución del saliente con el francobordo según los dos métodos de cálculo del coeficiente K_{dt} , tal y como se puede observar a medida que el francobordo crece el tamaño del saliente es mayor, por tanto obtenemos un resultado esperable, ya que al pasar una menor cantidad de energía los sedimentos se acumulan a mayor velocidad.

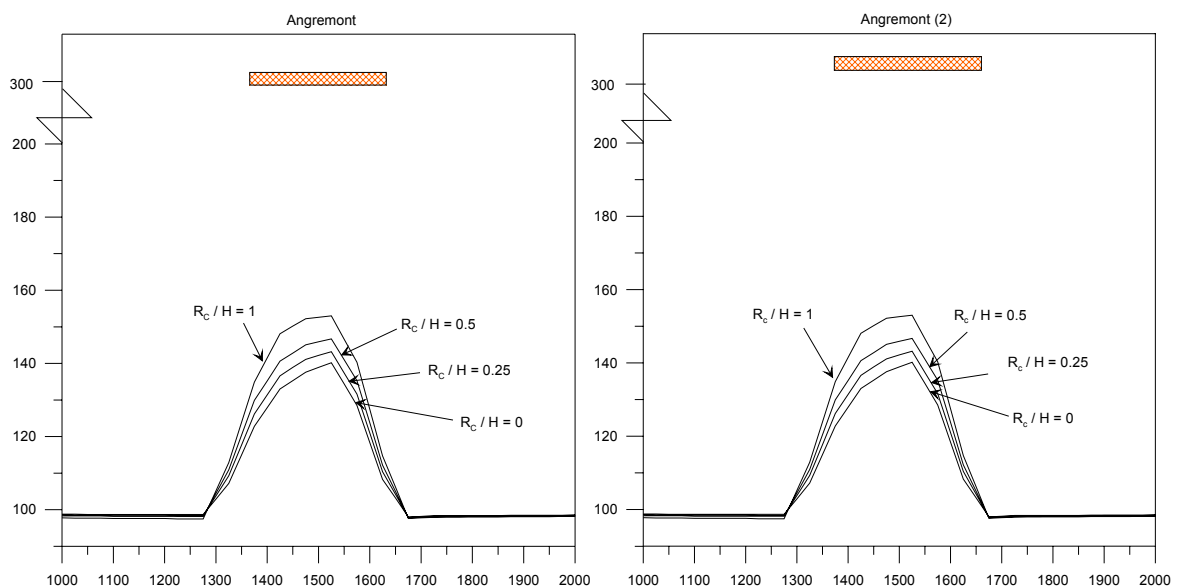


Figura 5.6. Evolución de la línea de orilla, con un oleaje de incidencia normal, tras un dique exento, en función del francobordo. Derecha: método original, Izquierda: método modificado. (Fuente: Elaboración propia.)

Por tanto, en principio, para valores del coeficiente K_{dt} menores se obtiene un tamaño de saliente mayor, sin embargo al comparar los resultados obtenidos con los distintos métodos de cálculo de K_{dt} se obtiene que para un mismo francobordo el método modificado (2), que

tiene un K_{dt} menor, da un tamaño de saliente menor. Para determinar si el resultado es correcto se deben analizar las tasas de transporte en dos puntos consecutivos tal y como se ha dicho anteriormente. Para ello analizaremos las gráficas de altura de ola a lo largo de la costa ya que para un mismo ángulo de incidencia es quien determina las diferentes tasas.

En la Figura 5.7. se muestran las alturas de ola a lo largo de la playa correspondientes dos casos, uno de un dique con un francobordo de 1 m y otro de 0.5 m y en ambos se ha empleado el mismo método para hallar K_{dt} . Tal y como se puede observar en la figura, entre dos puntos consecutivos de la parte central del gráfico, existe una mayor diferencia entre alturas y gradientes en el caso de la línea azul. Es decir, la diferencia entre tasas de transporte es mayor lo que lleva a un tamaño del saliente mayor. Esta línea corresponde al francobordo de un metro que debe ser el de mayor acumulación de sedimento y por lo tanto los resultados obtenidos son correctos.

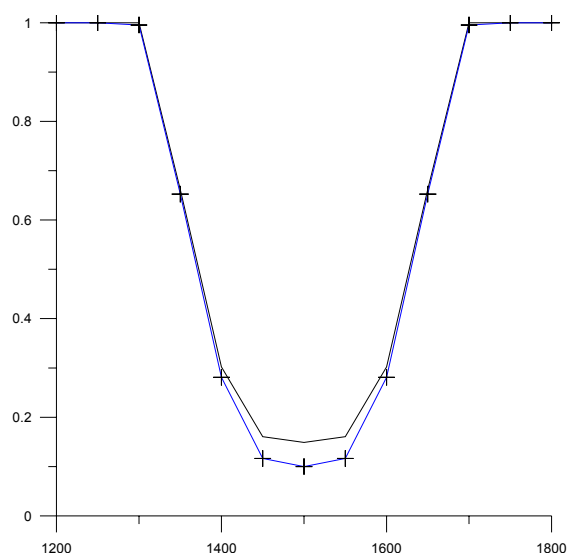


Figura 5.7. Distribución de alturas a lo largo de la línea de orilla para dos diques de distinto francobordo. Azul: $Rc/H=1$ m. Negro: $Rc/H=0.5$ m. (Fuente: Elaboración propia.)

En la Figura 5.8. se muestran las alturas de ola a lo largo de la playa a dos diques con un mismo francobordo y con las mismas características geométricas, pero distintos métodos de evaluar K_{dt} . Tal y como ya se ha dicho anteriormente se ha obtenido un mayor tamaño de saliente para el primer método, que es el que tiene un coeficiente K_{dt} mayor, y por tanto se debe comprobar que para este método la diferencia entre tasa de transporte sea mayor. En la Figura 6.8. se puede observar que tanto la diferencia entre alturas como la de gradientes es mayor para la línea negra, que es la que corresponde al primer método, y por tanto, se demuestra que la acumulación de sedimentos será mayor.

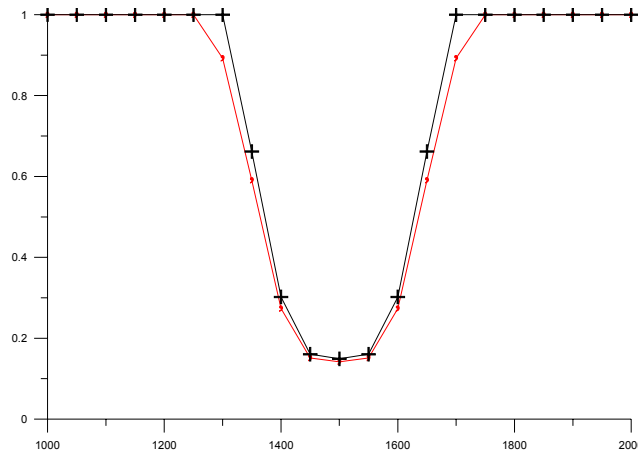


Figura 5.8. Distribución de alturas a lo largo de la línea de orilla para un mismo dique empleando los distintos métodos de cálculo de K_{dt} . Negro: método (1). Rojo: método (2). (Fuente: Elaboración propia.)

La figura 5.9. muestra como disminuye el tamaño relativo del saliente a medida que disminuye el francobordo. Esta relación es lineal y la pendiente aumenta a partir de un valor del francobordo de 0.5 m, que puede corresponder al momento en que la transmisión es más efectiva. Se puede observar que con un francobordo de -0.25 m se obtienen reducciones del 30% en el tamaño del saliente respecto al caso no rebasable.

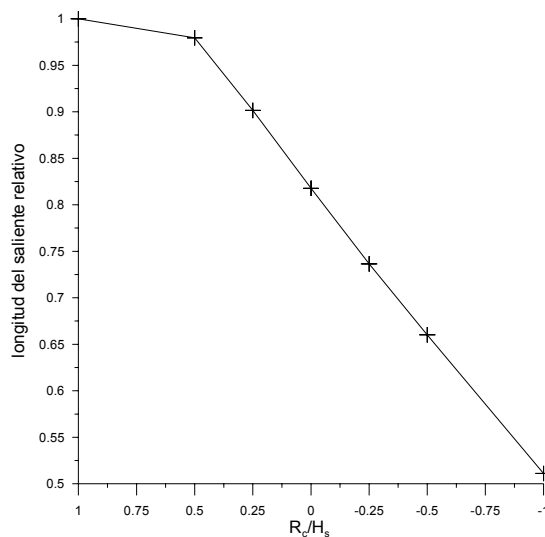


Figura 5.9. Longitud del saliente relativo en función de francobordo relativo, para un oleaje de incidencia normal. (Fuente: Elaboración propia.)

5.2.2. Incidencia del oleaje oblicua a la línea de orilla

La Figura 5.10. muestra la evolución del saliente al modificar el francobordo de la estructura. Tal y como sucedía en el caso anterior el modelo reproduce el comportamiento esperado, es decir, un menor saliente a medida que disminuye el francobordo. Además en esta figura también se puede observar que en este caso el saliente no es simétrico, sino que

afecta la forma de la línea de orilla aguas arriba y aguas abajo. En la zona aguas abajo del dique se forma una zona de erosión y en la zona aguas arriba una de acreción que se suavizan a medida que crece la transmisión.

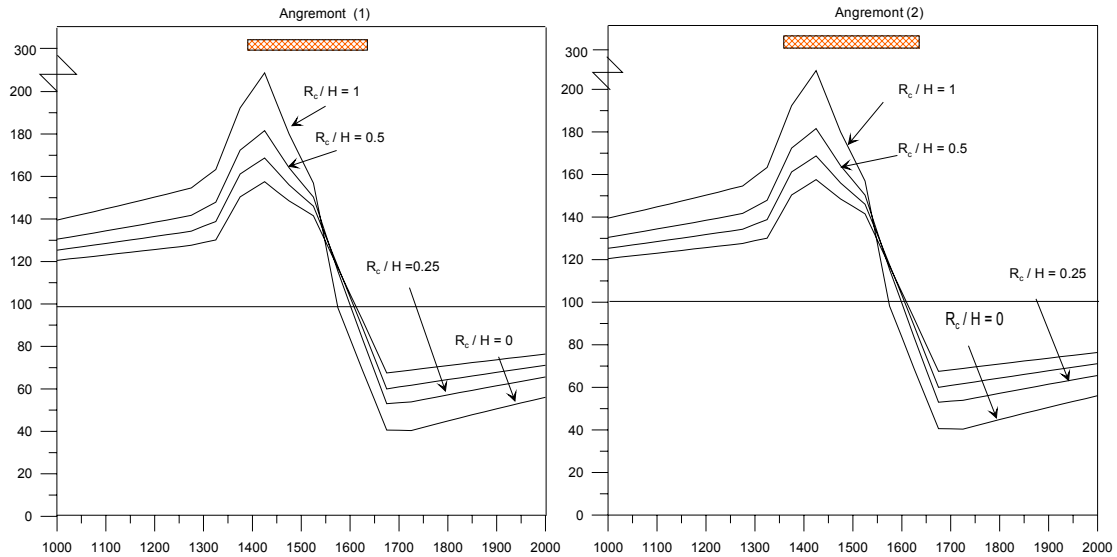


Figura 5.10. Evolución de la línea de orilla con un oleaje de incidencia oblicua, tras un dique exento, en función del francobordo. Izquierda: método original Derecha: método modificado. (Fuente: Elaboración propia.)

La figura de la izquierda ha sido calculada empleando el método original y la de la derecha empleando el paramétrico o modificado. A simple vista no se aprecia ninguna diferencia pero tal y como se puede observar en la Figura 5.11. en las proximidades del dique la diferencia puede llegar hasta los 15 m. También se puede observar que las diferencias disminuyen a medida que crece el francobordo, debido a que disminuye la transmisión.

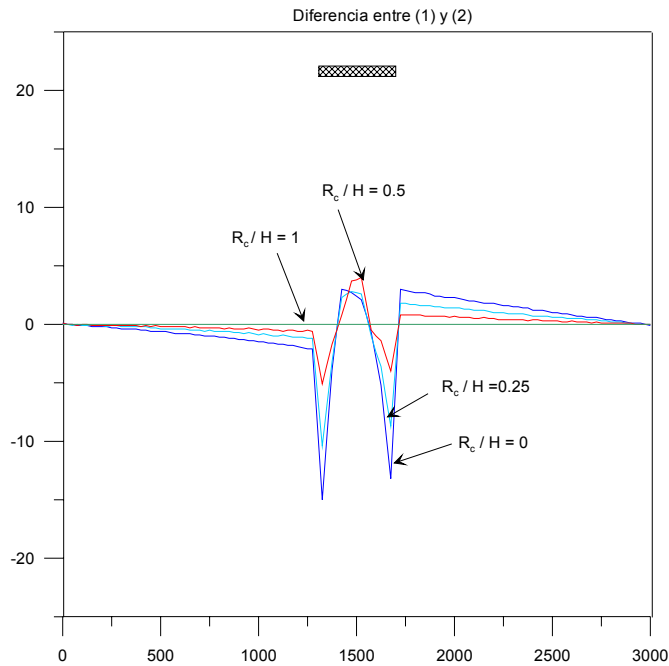


Figura 5.11. Diferencia en metros a lo largo de la línea de orilla entre el método original y modificado de cálculo de K_{dt} para un oleaje de incidencia oblicua y distintos francobordos. (Fuente: Elaboración propia.)

La figura 5.12. muestra la evolución del tamaño del saliente relativo en la zona de acreción en función del francobordo. Tal y como se puede observar se obtiene un descenso mayor que en el caso de incidencia normal, ya que para un francobordo de -0.25 m se obtiene una reducción del entorno del 50%. También se puede observar que existe una cierta pérdida de la linealidad observada en el caso de incidencia normal y que tal como sucedía en el caso anterior existe un cambio en la pendiente a partir del valor del francobordo de 0.5 m.

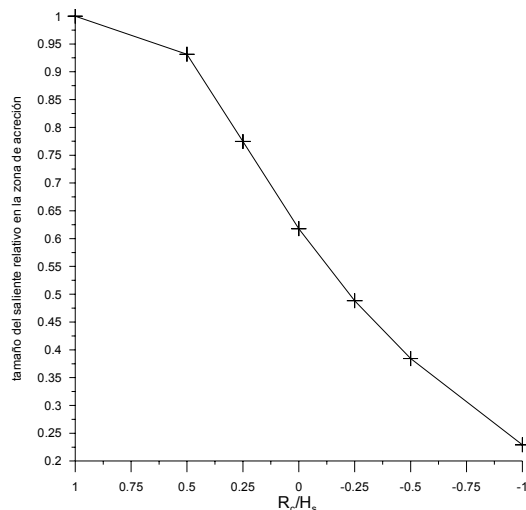


Figura 5.12. Longitud del saliente relativo en función de francobordo relativo, para un oleaje de incidencia oblicua. (Fuente: Elaboración propia.)

5.3. Evolución de la línea de orilla en función de las constantes del transporte

Se pretende analizar el efecto en la evolución de la línea de orilla frente a la variación de las constantes del transporte. Para ello se analizarán los siguientes casos:

- (1) $K_1 = 0.3, K_2 = 0.3$
- (2) $K_1 = 0.45, K_2 = 0.3$
- (3) $K_1 = 0.3, K_2 = 0.45$

La constante K_1 es la correspondiente al término de transporte por oblicuidad del oleaje y la constante K_2 es la correspondiente al término de gradientes de ola. Cada uno de los casos será analizado para incidencia normal y oblicua del oleaje.

En primer lugar se analizará que sucede si la incidencia del oleaje es normal a la línea de orilla. En este caso se obtiene un saliente mayor para el valor de la constante K_2 mayor, que es la que corresponde al término de gradiente de altura de ola, tal y como se observa en la Figura 5.13.

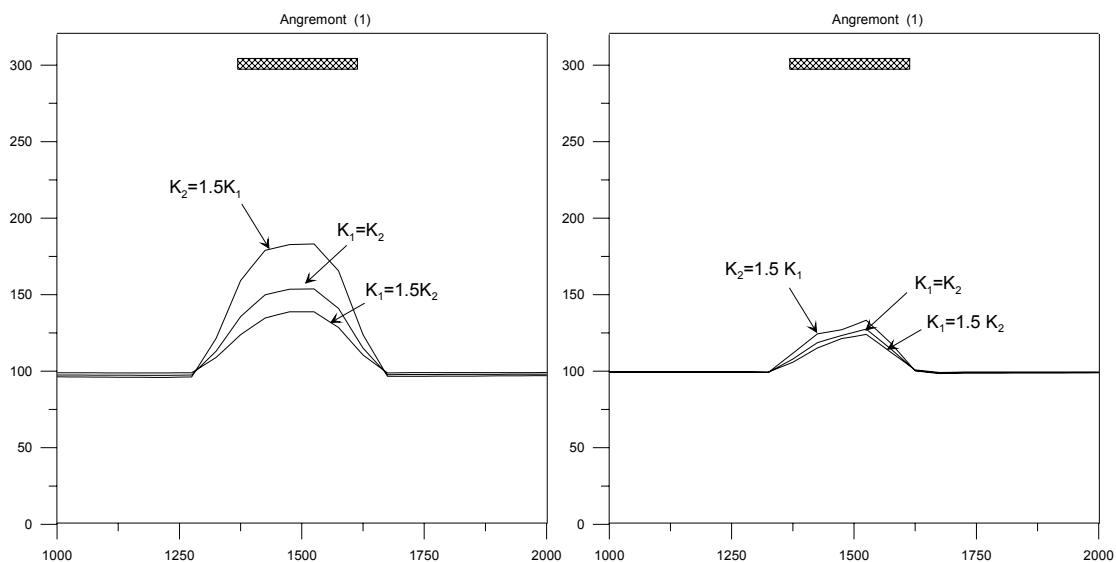


Figura 5.13. Desarrollo de un saliente tras un dique exento en función de la magnitud relativa de los coeficientes de transporte para un oleaje con incidencia normal. Izquierda: $R_c/H_s = 1$. Derecha: $R_c/H_s = -1$. (Fuente: Elaboración propia.)

Además en la Figura 5.13. se puede observar como modificando la relación entre los coeficientes del transporte se puede obtener un resultado parecido al obtenido al incluir el efecto de la transmisión.

La Figura 5.13. también muestra como el efecto de las constantes del transporte disminuye a medida que disminuye el francobordo, ya que al aumentar la transmisión los gradientes de altura de ola son menores y por tanto el término de transporte por gradiente es pequeño.

A continuación se analiza el efecto de las constantes, si la incidencia del oleaje es oblicua a la línea de orilla.

Las diferencias entre tamaños de saliente son menores que las obtenidas para el caso de incidencia normal, tal y como se observa en la Figura 5.14. Esto es debido al peso del transporte longitudinal en el caso de incidencia oblicua.

La Figura 5.14. muestra la variación de la línea de orilla con las constantes del transporte para un francobordo relativo de 1 m y para otro de -1 m. Tal y como sucedía en el caso anterior se obtiene un tamaño de saliente mayor para el mayor valor de la constante K_2 . También se puede observar que las formas se suavizan a medida que aumenta la transmisión.

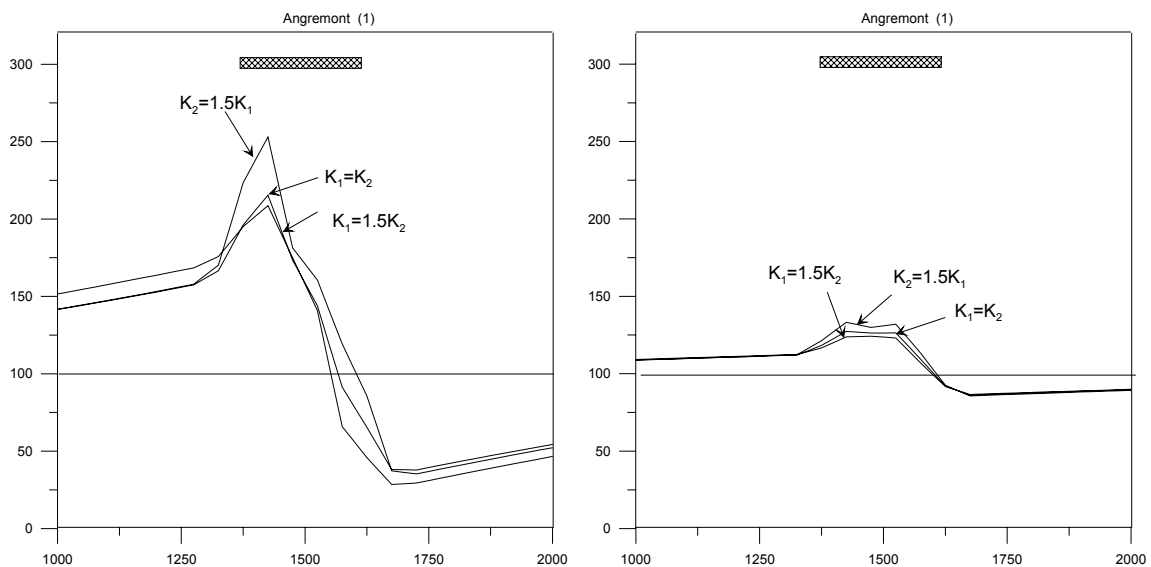


Figura 5.14. Desarrollo de un saliente tras un dique exento en función de la magnitud relativa de los coeficientes de transporte para un oleaje con incidencia oblicua. Izquierda: $R_c/H_s = 1$. Derecha: $R_c/H_s = -1$. (Fuente: Elaboración propia.)

Los resultados obtenidos muestran que los cambios de tamaño inducidos por la variación de los coeficientes del transporte son similares a los de la transmisión. Sin embargo, la forma del saliente es bastante diferente, tal y como muestra la Figura 5.15.

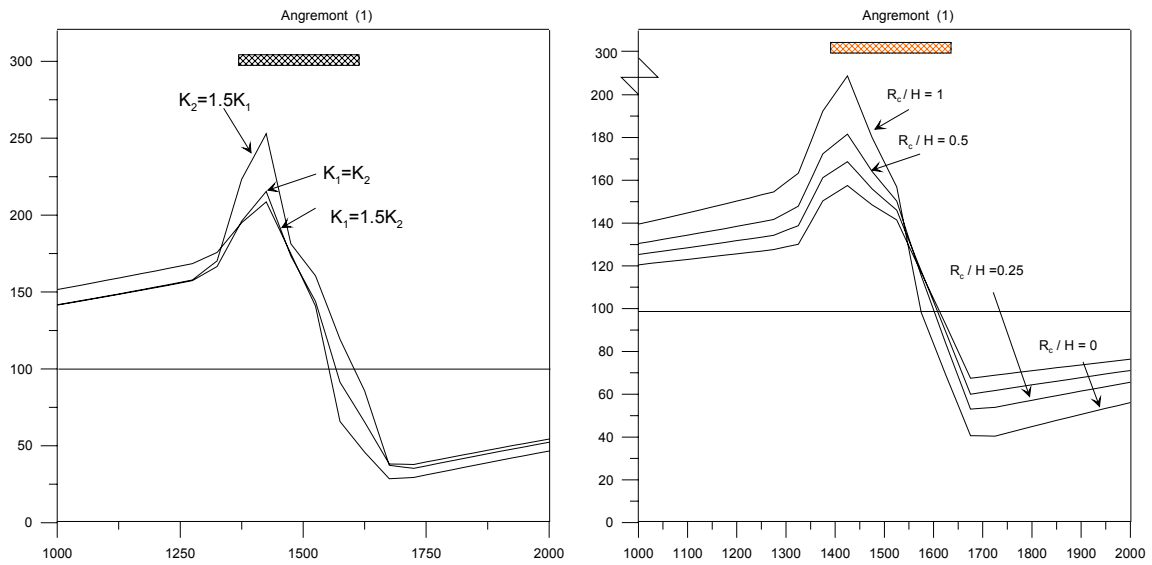


Figura 5.15. Comparación entre el desarrollo inducido al modificar las constantes del transporte (izquierda) y el inducido al modificar el francobordo (derecha). (Fuente: Elaboración propia.)