



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL
Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

APÉNDICE 3

CÁLCULO DE LAS COTAS DE INUNDABILIDAD POR MAREAS Y POR OLEAJE EN ENTRANTES (ENSENADAS, RÍAS Y ESTUARIOS)

CÁLCULO DE LA COTA DE INUNDABILIDAD POR MAREA Y OLEAJE EN ENTRANTES (ENSENADAS, RÍAS Y ESTUARIOS)

Las riberas de las masas de agua que parecen que se adentran en tierra más allá del trazado general de la línea de costa (ensenadas, rías, estuarios, zonas a resguardo de islas, etc.) tienen por la propia morfología costera un cierto grado de protección contra el oleaje. Por una parte, los temporales procedentes de direcciones oblicuas a la entrada o bocana del entrante de agua penetran muy poco en éste, por lo que la frecuencia de las alturas de ola excepcionales en el interior es menor que las que se dan en la costa abierta. Por otra, si la anchura de la bocana es menor que la de la masa de agua protegida por ésta, el oleaje que incide normalmente a la bocana se abre en muchas direcciones; los frentes de ola pasan de ser aproximadamente planos a ser aproximadamente semicirculares y la energía del oleaje incidente se reparte de forma compleja entre estas direcciones; en resumen, se produce un fenómeno de difracción que puede modificar sustancialmente la altura de ola que llega a las riberas del entrante. Finalmente, en los tramos de ribera constituidos por playas, la profundidad que se encuentra el oleaje en su transporte desde la bocana hasta la playa va decreciendo, lo que provoca un fenómeno de refracción que también contribuye a disminuir la altura de ola.

Para tener en cuenta este grado de protección en las riberas de los entrantes se ha diseñado la metodología que se describe a continuación. Es una metodología simplificada debido a que se trata de una evaluación preliminar de riesgos de inundación y a la necesidad de disponer de los resultados de los cálculos para toda la costa española en un tiempo breve. A pesar de ello, la aplicación de esta metodología hace que el trabajo se multiplique por un factor de entre 2 y 10 (dependiendo de la morfología de la costa en cada demarcación hidrográfica) en comparación con el necesario para analizar toda la línea de costa como si fuera costa abierta.

1. SELECCIÓN DE LA ORIENTACIÓN DEL RÉGIMEN EXTREMAL DE COTA DE INUNDACIÓN A APLICAR

Se elige la normal a la línea de cierre de la bocana del entrante.

Si para esta dirección no existe régimen extremal calculado se selecciona el de la dirección más próxima que sí lo tenga y se le da un tratamiento diferente según se explica más adelante.

2. CÁLCULO DE LA SOBREELEVACIÓN POR REMONTE MÁXIMO A LA ENTRADA DEL ENTRANTE

El número de temporales que penetran en el entrante es muy inferior al de temporales que llegarían a una hipotética costa situada en el cierre del emisario debido a que solo penetran los que proceden de direcciones situadas dentro de un cierto ángulo en torno a la normal a la línea de cierre. Esto significa que la frecuencia de las alturas de ola extremas decrece. Aunque en rigor habría que calcular el régimen extremal direccional en la bocana, como criterio simplificado para la EPRI supondremos que la

frecuencia se divide por 5, lo que corresponde a suponer probabilidad uniforme para todas las direcciones dentro de los 180° de una costa abierta y ángulo de selección para los temporales que penetran en el entrante de 36°. Por lo tanto, en la práctica lo que tenemos que hacer es:

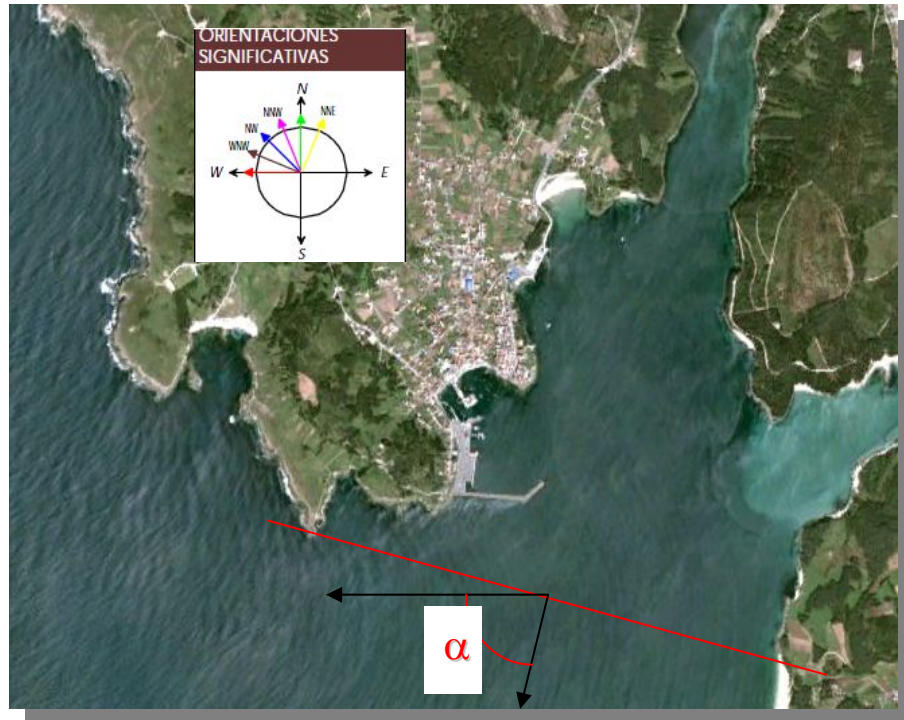
- Utilizando el régimen extremal de la orientación seleccionada, calcular la cota de inundación correspondiente a un período de retorno de $500/5 = 100$ años ($S_{M+R, eE, \theta, 500} = S_{M+R, \theta, 100}$).
- La sobreelevación por rebase máximo a la entrada del entrante ($R_{2\%, eE, \theta, 500}$) se obtiene restando de la anterior la cota de la pleamar que se sobrepasa un 2% del tiempo cada año:

$$R_{2\%, eE, \theta, 500} = S_{M+R, eE, \theta, 500} - S_{M, 2\%}$$

Si para la dirección normal a la línea de cierre no existía régimen extremal calculado es porque dicha dirección no está enfrentada al mar abierto. Entonces solo entra oleaje refractado. Como método simple para tener en cuenta esta circunstancia se multiplicará el valor de $R_{2\%, eE, \theta, 500}$ antes calculado por la raíz cuadrada del coseno del ángulo que forma dicha dirección con la de la dirección más próxima que sí lo tenga. Este factor se deduce de la aplicación de la ley de Snell suponiendo batimétricas rectas paralelas a la línea de cierre, que el remonte calculado es proporcional a la altura de ola de los temporales, que éstos proceden de la dirección cuyo régimen extremal se ha utilizado y que penetran en el entrante perpendicularmente a la línea de cierre.

Si se trata de un entrante cuya bocana da a otro entrante se tomará como valor de

$R_{2\%, eE, 500}$ el que se obtendría aplicando los apartados siguientes a un tramo de costa disipativa virtual que estuviera situado en el cierre de dicha bocana.



El remonte medio a la entrada del entrante se tomará igual a la cuarta parte del remonte máximo:

$$R_{m, eE, \theta, 500} = R_{2\%, eE, \theta, 500} / 4$$

Este valor se usará para calcular la cota de inundabilidad por marea en todo el interior del entrante.

Conviene tener presente que si $R_{2\%, eE, \theta, 500} < 4 (S_{M, 500} - S_{M, 2\%})$, entonces $S_{ref} = S_{M, 500}$, es decir, la cota de inundabilidad por marea es independiente del oleaje.

3. REDUCCIÓN POR DIFRACCIÓN Y POR REFRACCIÓN DEL OLAJE EN PUNTOS DE LA RIBERA DEL ENTRANTE

A) COSTAS DISIPATIVAS

Para cada tramo de ribera considerado, el valor calculado de $R_{2\%, eE, 500}$ se multiplicará por un coeficiente reductor K_d debido a la difracción y por otro K_r debido a la refracción para obtener el valor reducido del remonte máximo en dicho tramo

$$R_{2\%, \theta, 500, red} = K_d K_r R_{2\%, eE, \theta, 500}$$

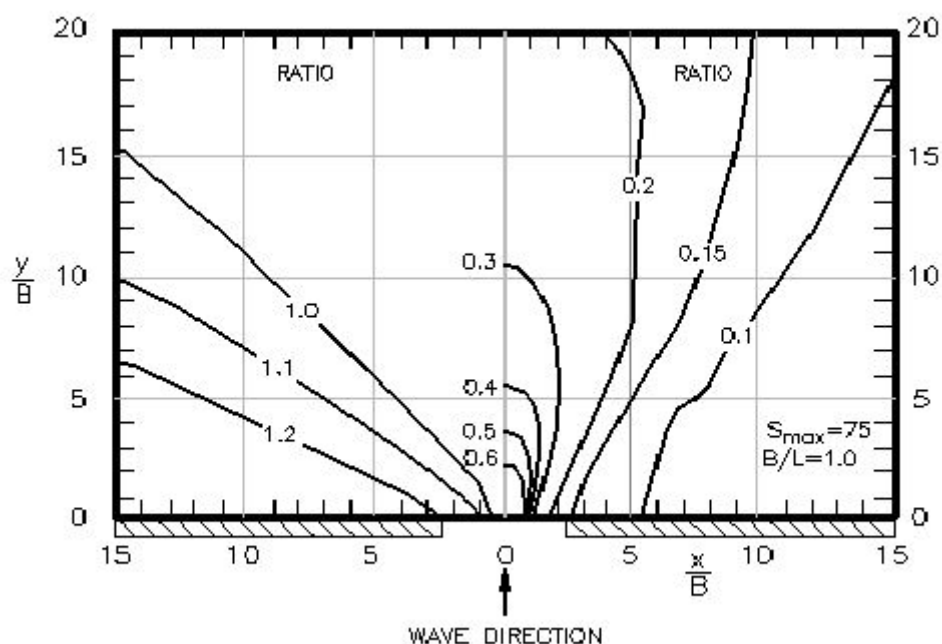
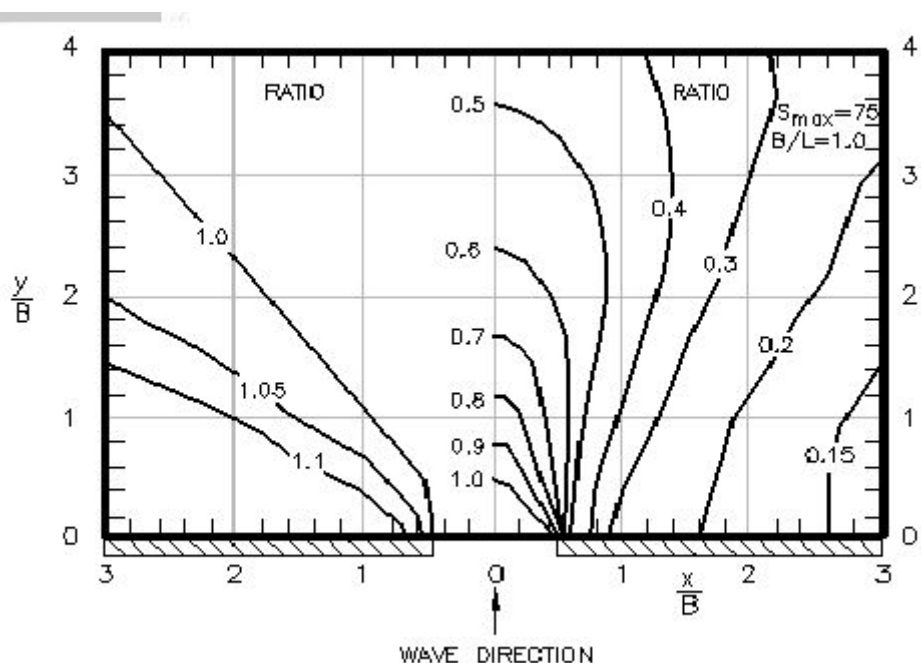
El valor de K_d se calculará a partir de los diagramas de Goda (capítulo II-7-2 del *Coastal Engineering Manual* del CERC). Estos diagramas están calculados para la difracción del oleaje irregular con incidencia normal sobre la bocana de una zona de mar limitada por dos diques reflejantes con la misma alineación y sentidos opuestos. Como estamos

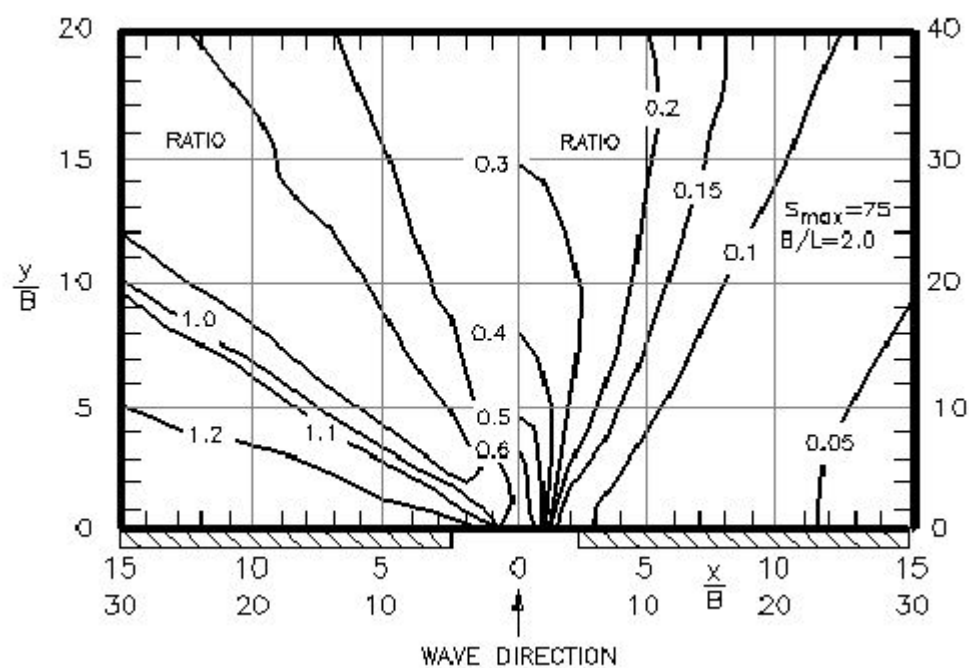
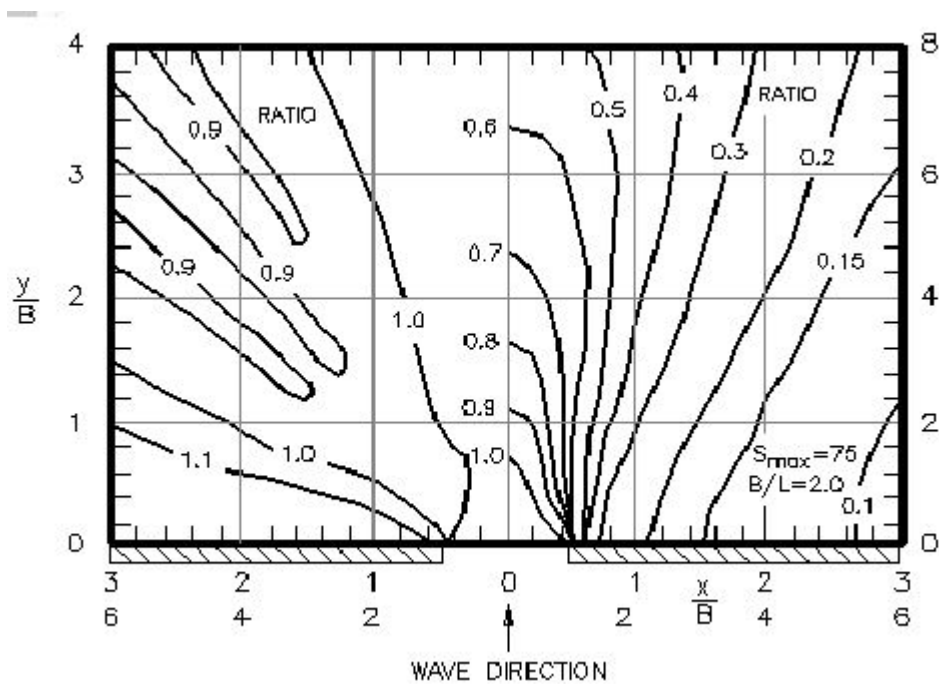
suponiendo que la costa es disipativa, es aceptable aplicar los ábacos aunque el interior del “puerto” virtual está parcialmente ocupado por tierra.

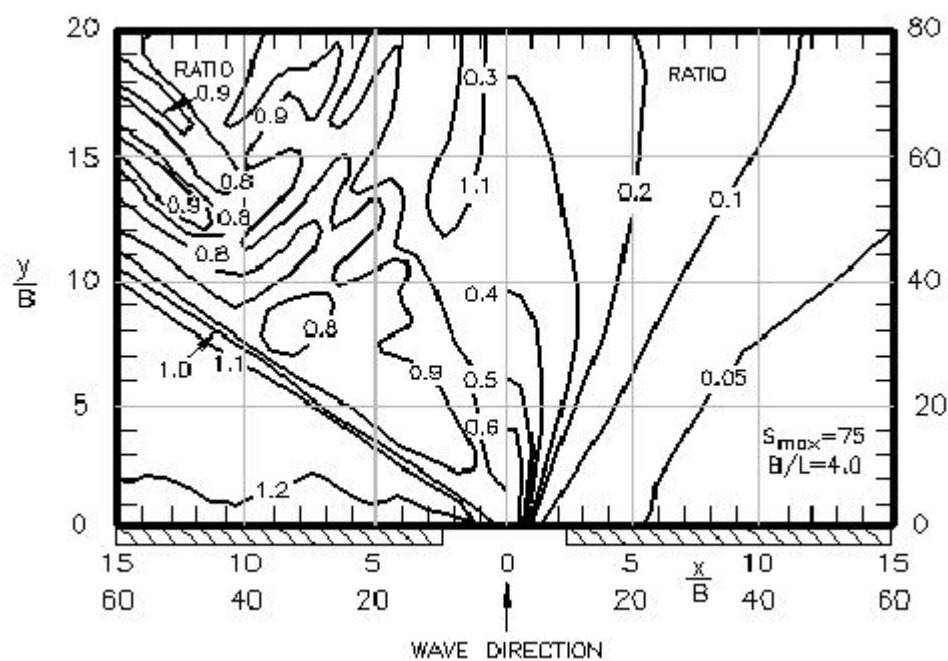
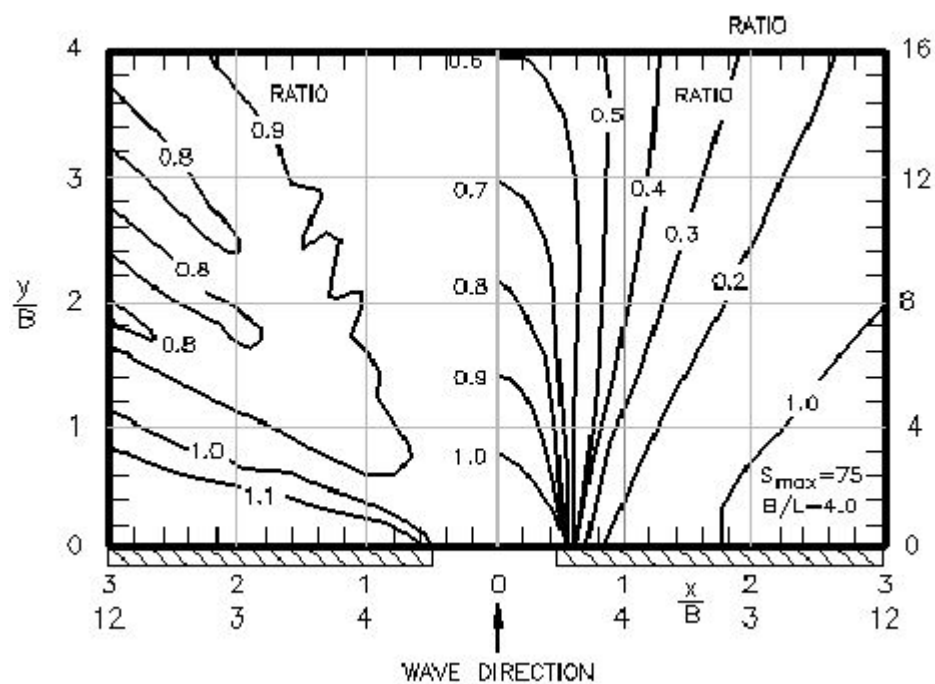
Como longitud de onda del oleaje incidente se tomarán 600 m (correspondiente a un período de unos 20 segundos) para el Atlántico y Cantábrico, y 300 m (correspondientes a un período de unos 14 segundos) para el Mediterráneo. Estos valores están del lado de la seguridad en el sentido de que darán penetraciones mayores de los temporales.

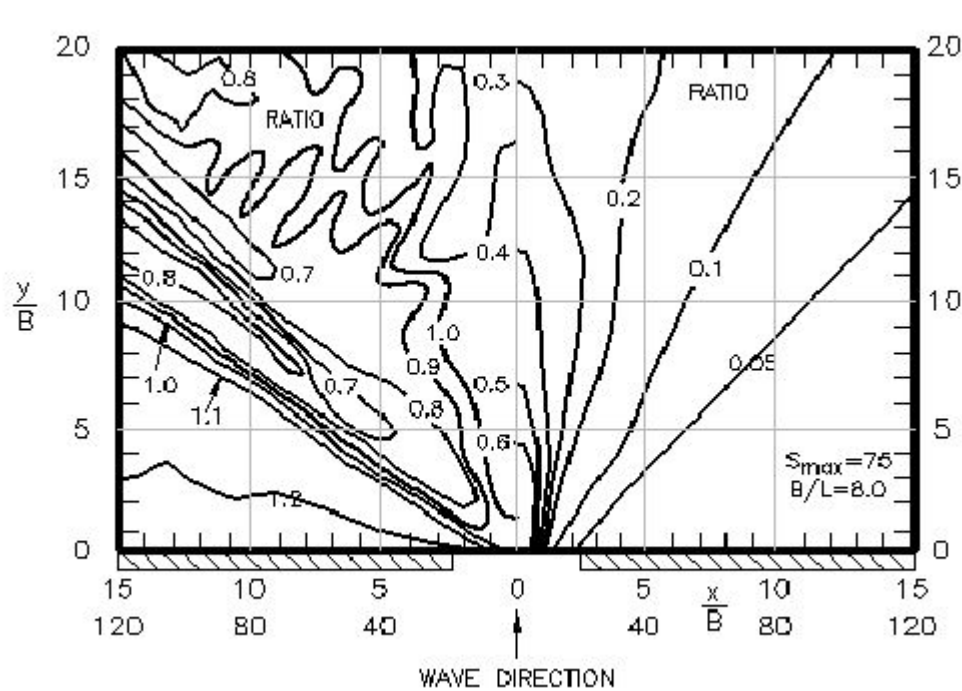
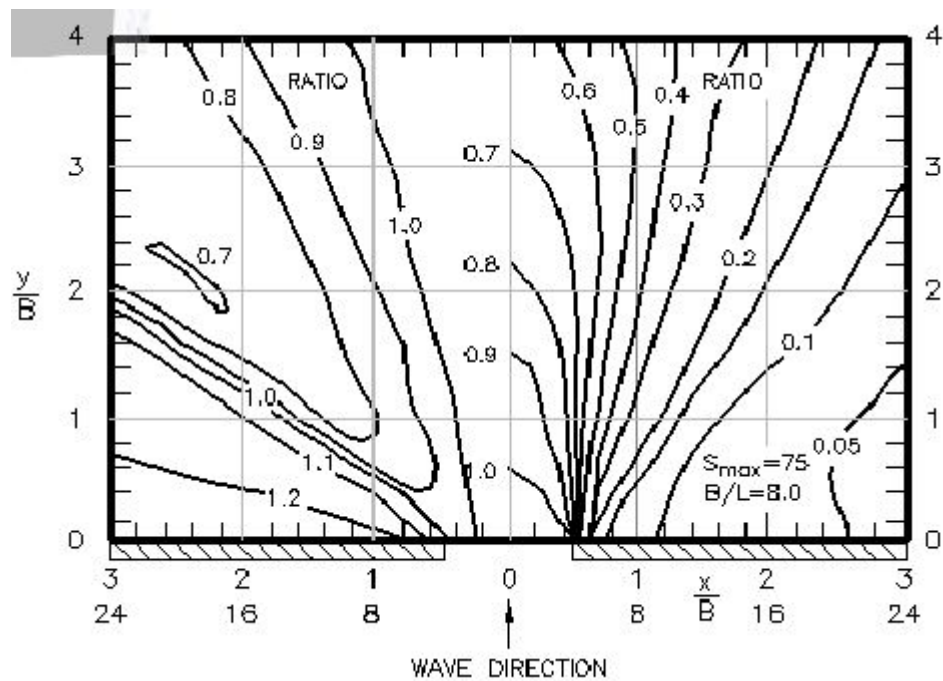
Como los grandes temporales suelen tener un componente importante de “swell”, se utilizarán los diagramas correspondientes a un valor del parámetro de concentración direccional S_{max} de 75.

Para facilitar la consulta, estos diagramas se han copiado a continuación.

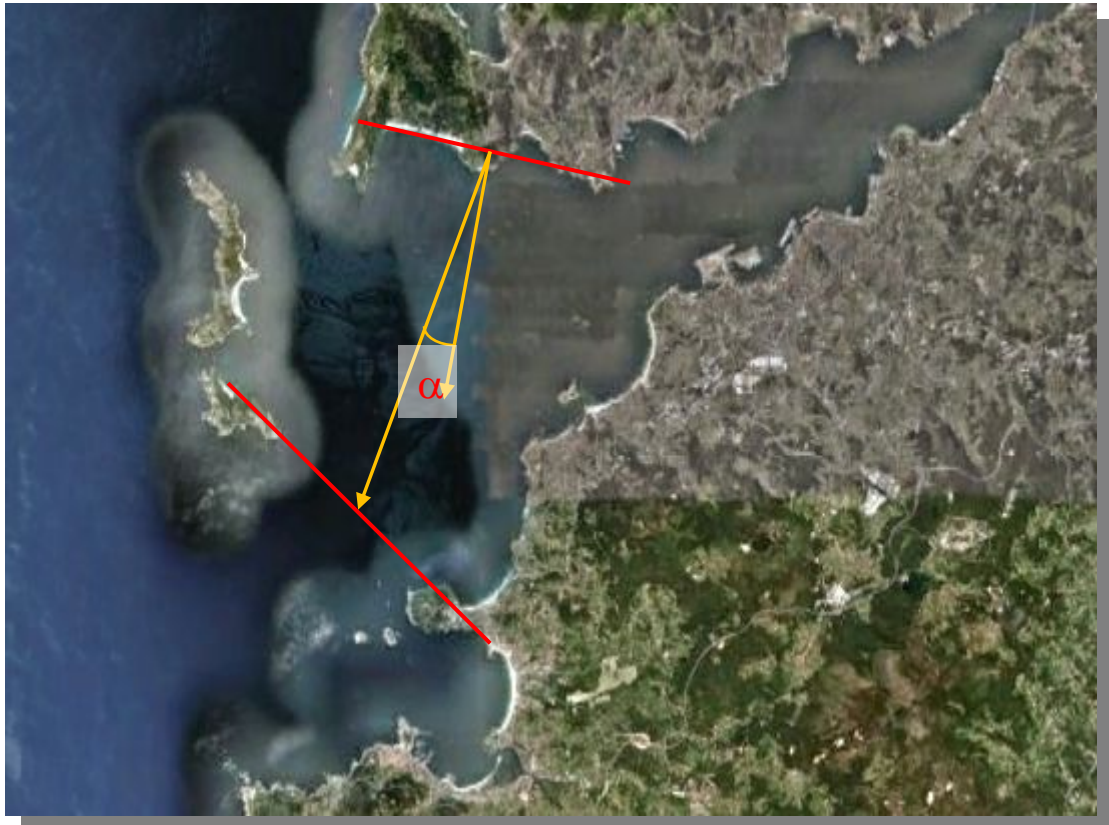








El valor de K_r será igual a la raíz cuadrada del coseno del ángulo que forman la normal al tramo de costa considerado con la recta que une su centro con el centro del cierre si es menor que un ángulo recto, y será igual a cero en caso contrario. Este factor se deduce de la aplicación de la ley de Snell suponiendo batimétricas rectas paralelas al tramo de costa considerado, que el remonte calculado es proporcional a la altura de ola de los temporales, que éstos llegan por difracción al tramo desde la dirección considerada (en línea recta desde el centro del cierre) y que, al ser la costa disipativa, su pendiente es pequeña y por tanto el oleaje llega perpendicularmente a la costa.



La cota de inundabilidad por oleaje reducida $S_{M+R, \theta, 500, red}$ se calcula sumando al rebose máximo reducido $R_{2\%, \theta, 500, red}$ el valor de la cota de la pleamar que se supera el 2% del tiempo cada año:

$$S_{M+R, \theta, 500, red} = R_{2\%, \theta, 500, red} + S_{M, 2\%}$$

Si $R_{2\%, \theta, 500, red} < S_{ref}$, la cota de inundabilidad por oleaje es inferior a la de inundabilidad por marea y por lo tanto no hay que hacer el proceso espacial correspondiente.

B) COSTAS REFLEJANTES

Cuando existen en el interior del entrante tramos de costas reflejantes, los criterios anteriores no son válidos. Casos extremos de esta situación son los ríos encauzados (sobre todo si los cajeros son verticales), las dársenas portuarias o los tramos de ría estrechos y de márgenes acantiladas, en los que para oleajes de períodos altos (grandes longitudes de ondas) se produce un efecto de “guía de ondas” que facilita su propagación.

Resulta muy difícil establecer un criterio simple para calcular el remonte máximo cuando existen tramos de costas reflejantes. Por una parte, en una costa reflejante el oleaje no rompe, por lo que en principio no habría que tener en cuenta el efecto del remonte, pero por otra, el oleaje reflejado en estos tramos se puede dirigir o tramos disipativos en los que sí rompe, contribuyendo a aumentar el valor del remonte. Y este efecto dependerá de la longitud, situación y orientación de los tramos reflejantes y disipativos, y también del grado de reflexión que se produzca en cada uno de ellos. El empleo de modelos numéricos de propagación de oleaje que tengan en cuenta asomeramiento, refracción difracción y reflexión parece inevitable en estos casos.

Sin embargo, se sigue necesitando un criterio simple que pueda aplicarse a partir de la información topográfica y visual del PNOA, sobre todo si existen núcleos de población cerca de los tramos disipativos. Por ello, aún a sabiendas de que se están asumiendo fuertes simplificaciones, se aplicarán los siguientes criterios:

- En los tramos de ríos encauzados no se realizará el cálculo del remonte máximo porque la rotura del oleaje se produce principalmente en dirección longitudinal y porque seguramente las zonas inundables por remonte del oleaje lo serán también por inundación fluvial.
- En tramos alargados de puertos y rías con márgenes reflejantes tras los cuales existan costas disipativas se supondrá que el rebase máximo a la entrada del tramo es igual al que existe a la salida. Las reducciones por difracción y por refracción se calcularán suponiendo que el oleaje procede del cierre de la salida del tramo.
- El coeficiente de difracción se modificará al alza para tener en cuenta que una fracción de la longitud de costa es reflejante, con un valor máximo igual a la unidad. Llamando f_r al valor de esta fracción (porcentaje de costa reflejante respecto al total del entrante expresado en tanto por uno) y K_x al valor medio del coeficiente de reflexión, el coeficiente de difracción modificado se calculará mediante la expresión

$$K'_d = K_d + (1 - K_d)f_r K_x = f_r K_x + (1 - f_r K_x)K_d$$

Puede comprobarse que si toda la costa fuera totalmente reflejante ($f_r=1$; $K_x=1$), resultaría $K'_d = 1$, y si toda la costa fuera totalmente disipativas ($K_x=0$) se tendría $K'_d = K_d$. La fórmula obtenida es una media ponderada entre los dos valores extremos K_d y 1 tomando como peso de ponderación el producto $f_r K_x$.

El coeficiente de reflexión para períodos altos, que son los que tenemos que considerar a efectos de inundaciones extremas, suele valer entre 0,4 y 0,8 para costas acantiladas (mayor cuanto mayor es la pendiente), 0,7 para diques en talud y 1 para diques y muelles verticales. Para la EPRI tomaremos como valor medio $K_x = 0,7$.

4. TRAMOS DE RIBERA PRÓXIMOS A LA BOCANA DEL ENTRANTE

Los tramos de ribera próximos a la bocana del entrante pueden verse más seriamente afectados por temporales que incidan oblicuamente sobre ésta, sobre todo si se trata de direcciones asociadas a oleajes más intensos.

Para estos tramos próximos a la bocana, además de calcular un primer valor de $R_{2\%, \theta, 500, red}$ por el procedimiento indicado más arriba, se calcularán uno o más valores adicionales para otras direcciones, principalmente las de oleajes más intensos, considerando para cada una de ellas un cierre ficticio perpendicular a la dirección considerada y de un ancho igual a la proyección sobre él del cierre real. Finalmente se tomará como valor definitivo el mayor de los valores de $R_{2\%, \theta, 500, red}$ calculados.