

CONSIDERACIÓN DEL SUELO EN EL MODELADO DE BARRERAS ACÚSTICAS BIDIMENSIONALES MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS DE CONTORNO

PACS: 43.50.Gf, 43.28.Js

Linares Hurtado, José Ignacio ; Gil Alfas, David.
ETSI (ICAI) – Universidad Pontificia Comillas de Madrid.
Alberto Aguilera 23
28015 Madrid. España
Tel.: 915 422 800
Fax: 915 596 569
E-mail: linares@dfc.icai.upco.es

ABSTRACT

This communication evaluates the applicability of Boundary Element Method (BEM) to calculate the insertion loss produced by 2D screens when the ground is considered. Ground is modelled as a finite surface which spreads on both sides from the screen. In first place the size of necessary ground is evaluated in order to avoid border effects. Then different configurations are studied: rigid and soft ground, plain and T-shaped screens and so on. Finally a quality index is applied to resume in an unique number all the information and compare different analysed configurations.

RESUMEN

En esta comunicación se evalúa la aplicación del Método de los Elementos de Contorno (MEC) a la determinación de las pérdidas por inserción en barreras acústicas bidimensionales en las que se considera la presencia del suelo, modelado como una superficie acotada de extensión finita. Se comienza por determinar la extensión necesaria de suelo a considerar para que los efectos de borde no sean significativos. Posteriormente se estudian diferentes tipos de suelo (absorbente y reflectante) y de barrera (con y sin cumbrera plana). Por último se aplica el concepto de índice de calidad acústica que permite valorar de forma sintética las configuraciones analizadas previamente.

MODELADO DEL SUELO

En anteriores trabajos¹ se ha mostrado la validez del Método de los Elementos de Contorno (MEC) para el estudio de las pérdidas por inserción provocadas por barreras acústicas, consideradas éstas según la teoría de Kurze y Anderson² como de profundidad semiinfinita. En esta comunicación se amplía el estudio previo a la consideración del suelo sobre el que se sustenta la barrera. La configuración sigue siendo bidimensional. La inclusión del suelo en el modelo matemático puede hacerse por dos procedimientos: modificando los núcleos de las ecuaciones integrales³ o considerando un suelo de extensión finita⁴, truncado de tal modo que reproduzca satisfactoriamente la zona de interés. En esta comunicación se ha seguido la segunda aproximación debido a que su implantación numérica es más simple y pese a ello no se compromete la precisión de los resultados obtenidos, como se muestra seguidamente.

En primer lugar se ha analizado la longitud de suelo necesaria para que, en ausencia de barrera, los efectos de borde no distorsionen los cálculos sobre el campo acústico. Para ello se han realizado diversas simulaciones tomando como patrón un suelo de longitud infinita, cuya solución se ha obtenido por el método de las imágenes. Todas las simulaciones numéricas (éstas y las del resto de la comunicación) se han efectuado con una fuente de 600 Hz y 100 dB de intensidad situada a 0.5 m del suelo. El mallado utilizado ha sido de elementos constantes con un tamaño de 1/6 de longitud de onda.

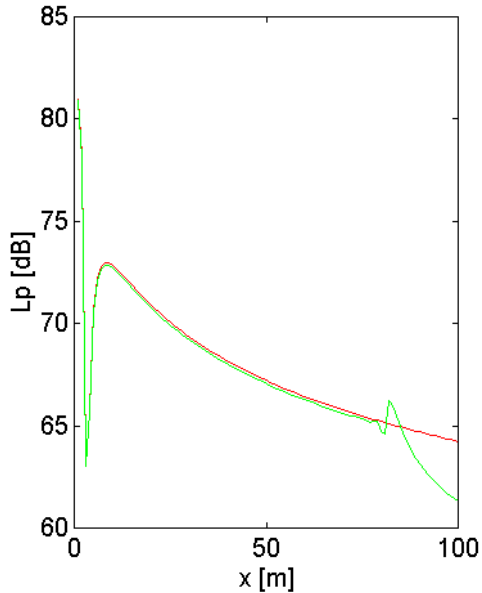


Fig. 1a.- Comparación entre el MEC (verde) considerando suelo truncado y el método de las imágenes (rojo). El suelo tiene una extensión de 80 m hacia la derecha y 5 m hacia la izquierda. La presión acústica se evalúa a 1 m sobre el suelo.

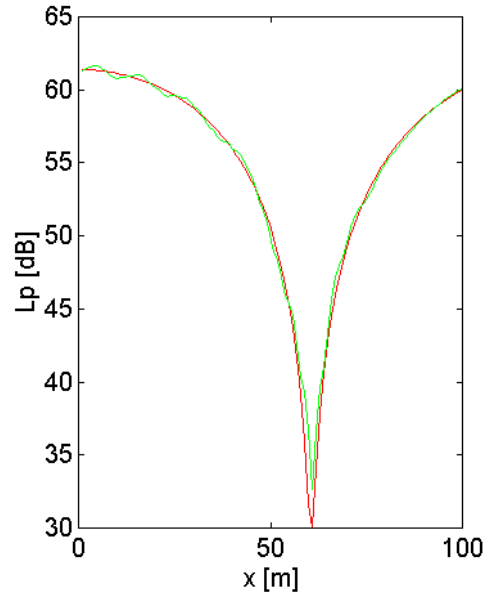


Fig 1b.- Similar a 1a pero evaluando la presión acústica a 100 m sobre el suelo. No se aprecia efecto de borde.

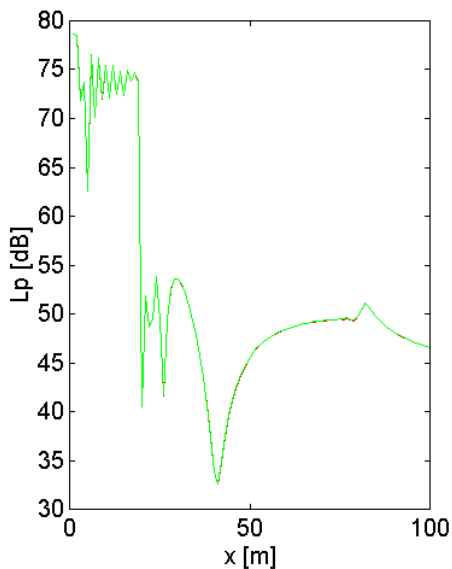


Fig 2a.- MEC (verde) considerando 80 m de suelo a la derecha y 5 m a la izquierda frente a MEC (rojo) considerando 80 m a ambos lados. La cota de evaluación se sitúa a 1 m del suelo.

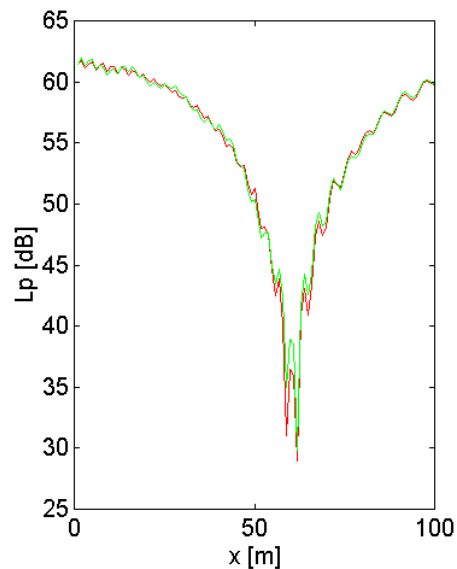


Fig 2b.- Similar a 2a pero situando la cota de evaluación a 100 m sobre el suelo. No se aprecia efecto de borde.

En la figura 1 se muestra la comparación entre la solución por el MEC con un suelo de 80 m de extensión a la derecha de la fuente (en el lado en el que estaría la barrera) y 5m a su

izquierda (zona no evaluada acústicamente). En ambos casos el suelo se ha supuesto perfectamente rígido (impedancia infinita). En la figura 1a se analiza la presión acústica a 1 m del suelo y en la 1b a 100 m del suelo. En ambos casos la concordancia entre la solución analítica y numérica es excelente, mostrándose el efecto de borde muy localizado en el mismo, sin perturbar el resto de la solución (de hecho, sólo se aprecia a 1 m del suelo, fig. 1a).

Los resultados presentados muestran que en ausencia de barrera es suficiente considerar una distancia de 10 longitudes de onda tras la fuente. Por otra parte, la longitud de suelo en la zona de estudio puede tomarse igual a dicha zona, por ser los efectos de borde muy locales. Se ha hecho un estudio similar pero en presencia de barrera, por lo que no ha sido posible comparar con el método de las imágenes. Lo que se ha tomado como patrón ha sido un suelo de extensión 80 m a cada lado de la fuente, comparando sus resultados con otro de 80 m hacia la derecha (lado de la barrera) y 5 hacia la izquierda. Los resultados se recogen en la figura 2, obteniéndose las mismas conclusiones.

INFLUENCIA DEL SUELO

Tras evaluar previamente la longitud necesaria de suelo a ambos lados de la fuente se analiza en esta sección la influencia que tiene sobre las pérdidas por inserción el carácter de dicho suelo. Para ello se ha considerado un suelo perfectamente rígido (impedancia infinita) y otro perfectamente absorbente (impedancia nula). En ambos casos se ha considerado una barrera rígida y sin cumbrera de 3 m de altura y 8 cm de espesor situada a 19.5 m de la fuente.

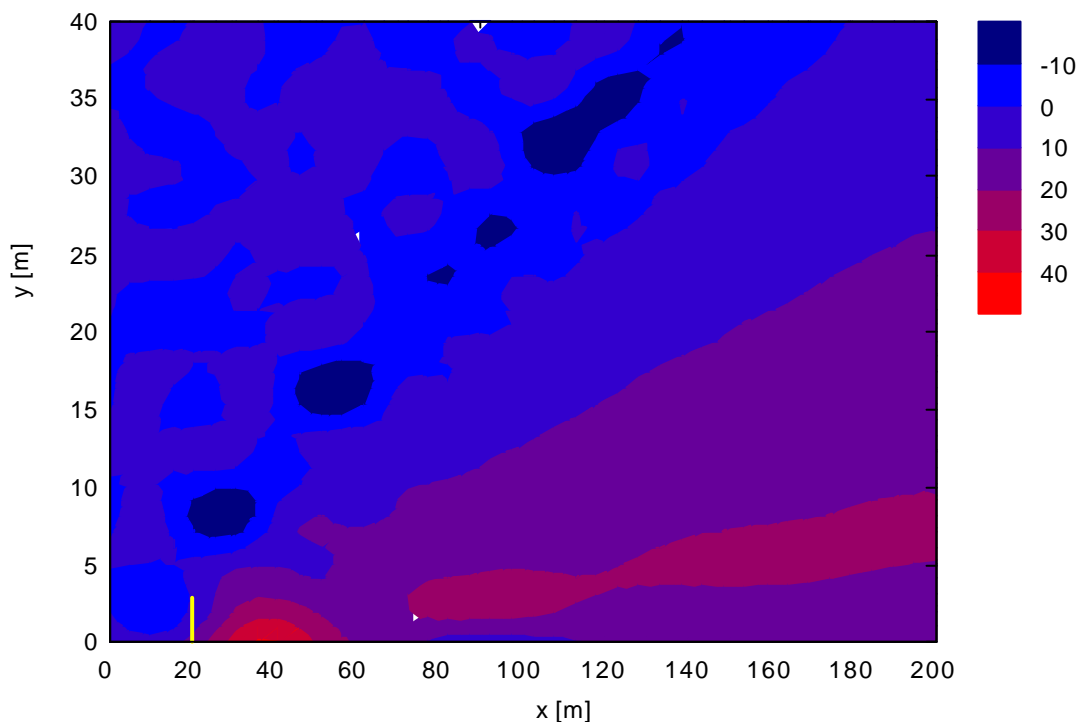


Fig. 3.- Pérdidas por inserción [dB] en presencia de suelo rígido. La barrera (en amarillo en la figura) carece de cumbrera.

Los resultados obtenidos se recogen en las figuras 3 y 4. De ellas se desprende que cuando el suelo es rígido se produce una zona de máxima atenuación (superior a 40 dB) en las proximidades de la barrera, siendo las pérdidas en el resto de la zona de sombra entre 10 y 20 dB, a excepción de una región próxima al suelo donde se sitúan entre 20 y 30 dB. En la zona de iluminación se ve que las pérdidas son escasas, produciéndose incluso amplificaciones. Por el contrario, cuando el suelo es blando la presencia de la barrera es contraproducente debido a que dificulta la aparición de las interferencias destructivas provocadas por el tipo de suelo. Así, en una zona considerable de la región de sombra se producen amplificaciones, teniéndose en el resto pérdidas por inserción muy bajas (inferiores a 10 dB), salvo pequeñas islas localizadas.

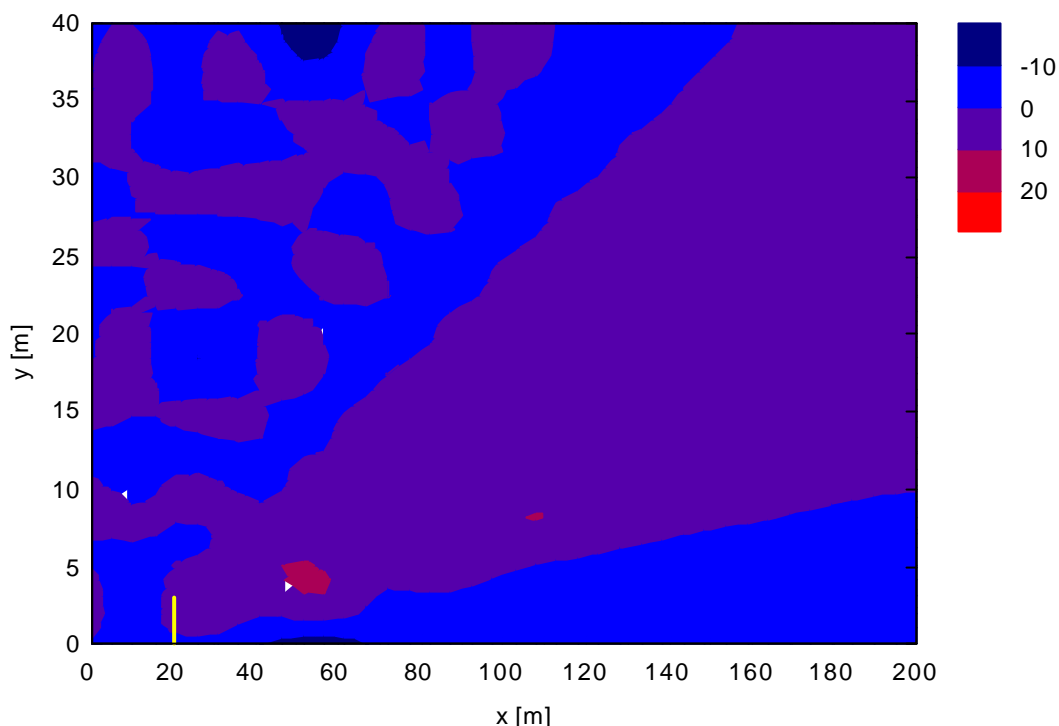


Fig. 4.- Pérdidas por inserción [dB] en presencia de suelo blando. La barrera (en amarillo en la figura) carece de cumbrera.

INFLUENCIA DE LAS CUMBRERAS

En esta sección se analiza la efectividad de las cumbreras planas (barrera en forma de T) sobre las pérdidas por inserción en presencia de suelo rígido. Habitualmente⁵ las cumbreras de este tipo suelen tener una anchura total de 2 m. En esta comunicación se ha comparado una cumbrera de este tipo (anchura de 2.08 m) con otra más corta de anchura total 0.88 m (1.4 longitudes de onda). En ambos casos el espesor de las cumbreras coincide con el de la barrera (8 cm), y la altura total de la barrera, incluyendo la cumbrera, es de 3.08 m. El resto de parámetros son los mismos que en la sección anterior.

En las figuras 5 y 6 se recogen los resultados obtenidos. De ellos se desprende que es mucho más efectiva la cumbrera corta (poco habitual) que la larga. En efecto, con la cumbrera corta se alcanzan pérdidas por inserción en la zona de sombra de hasta 60 dB, siendo frecuentes los valores entre 30 y 50 dB. Sin embargo con la cumbrera larga (configuración habitual) el máximo valor que se alcanza es de 40 dB, existiendo amplias zonas entre 0 y 20 dB. De hecho, si se comparan los resultados de esta cumbrera con los obtenidos con barrera lisa se observa que los niveles máximos de protección son similares. La diferencia radica en que el campo con la barrera provista de cumbrera es más complejo.

ÍNDICE DE CALIDAD ACÚSTICA

En los mapas presentados se comprueba que la distribución espacial de las pérdidas por inserción es muy compleja, lo que dificulta la comparación objetiva entre las diferentes configuraciones, así como la evaluación del aislamiento producido. En este sentido Simón y Pfretzschner⁶ han introducido un índice de calidad que califica mediante un único número el aislamiento producido por una barrera. Dicho índice se basa en la existencia de un valor asintótico para las pérdidas por inserción cuando éstas son evaluadas a grandes distancias de la barrera.

En la figura 7 se representan las pérdidas por inserción de las diferentes configuraciones presentadas en esta comunicación, evaluadas todas a 1 m del suelo. Se comprueba la existencia de una asíntota que es la que define el índice de calidad, deduciéndose de ella los

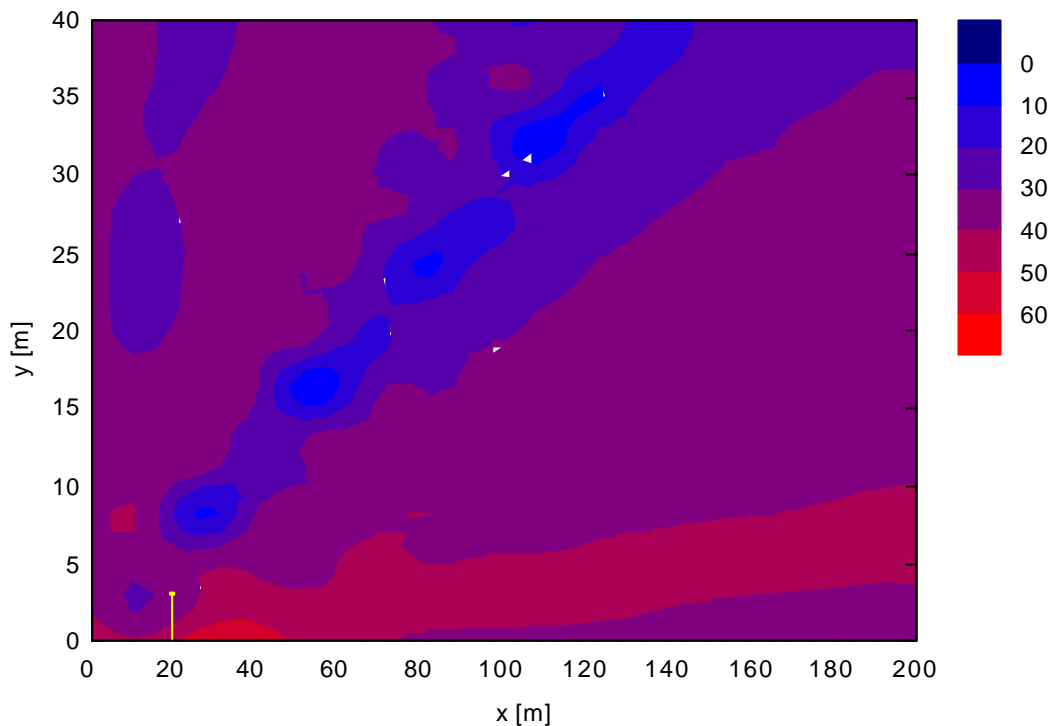


Fig. 5.- Pérdidas por inserción [dB] en presencia de suelo rígido con barrera coronada por una cumbrera corta (1.4λ).

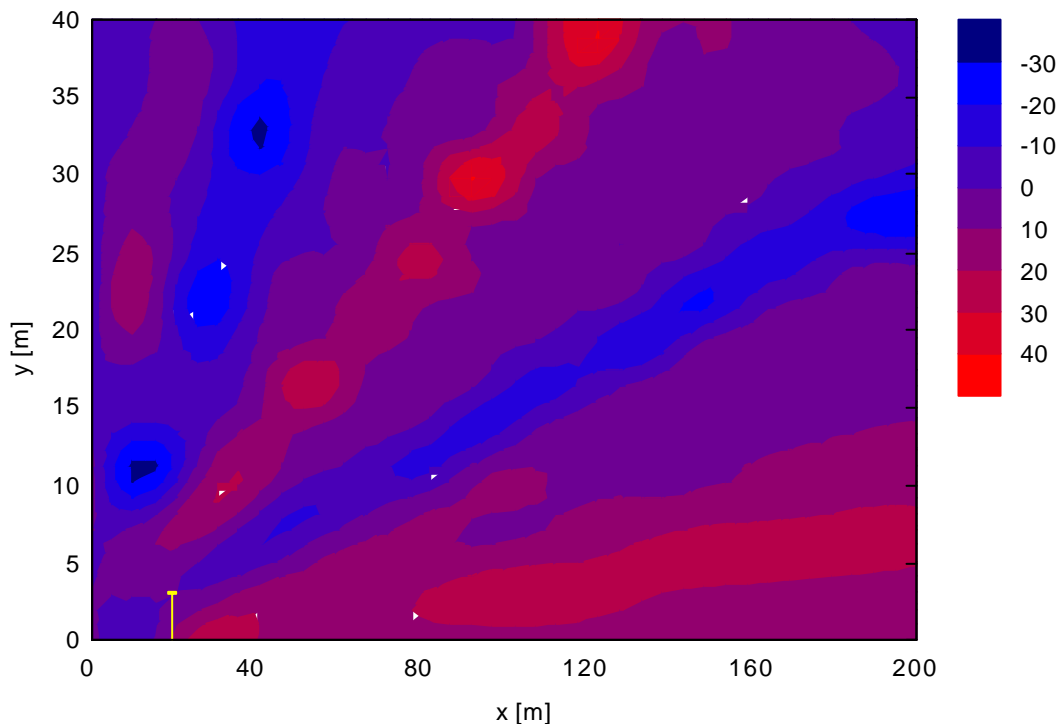


Fig. 6.- Pérdidas por inserción [dB] en presencia de suelo rígido con barrera coronada por una cumbrera larga (3.5λ).

valores mostrados en la tabla 1. Se observa cómo la cumbrera corta es la más ventajosa con diferencia, mientras que la larga presenta valores similares a la lisa en el mismo tipo de suelo. Finalmente, se muestra inútil la utilización de barrera cuando el suelo es un absorbente perfecto.

| Tipo de barrera | lisa - suelo rígido | lisa – suelo blando | cumbrera corta | cumbrera larga |
|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|----------------|
| Índice calidad [dB] | 13.8 | - 5.3 | 38.1 | 15.1 |

Tabla 1.- Valores del índice de calidad en las diferentes configuraciones estudiadas. Se corresponden con el valor de las pérdidas por inserción a 200 m de la fuente (180.42 m de la base de la barrera) y 1 m del suelo.

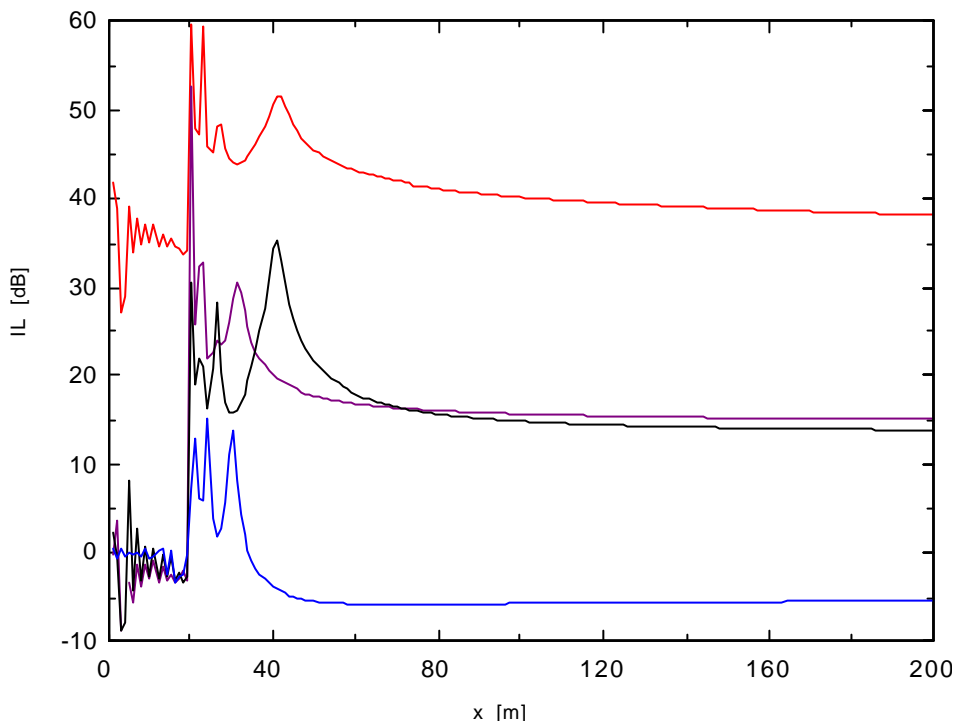


Fig. 7.- Pérdidas por inserción [dB] en diferentes configuraciones para determinar el índice de calidad acústica. Las pérdidas están evaluadas a 1 m sobre el suelo, apreciándose la discontinuidad provocada por la barrera. En rojo aparece representada la barrera con cumbrera corta; en violeta con cumbrera larga, ambas para suelo rígido; en negro la barrera lisa con suelo rígido y en azul la barrera lisa con suelo blando.

CONCLUSIONES

En esta comunicación se ha ampliado el análisis presentado en un trabajo anterior¹ sobre la aplicación del MEC al estudio de la protección producida por barreras acústicas. En esta ocasión se ha considerado tanto la influencia del suelo como la de la presencia de cumbreras en la barrera, comprobando que ambos efectos son complementarios. El suelo se ha modelado como una línea (problema 2D) de extensión finita a ambos lados de la barrera, comprobándose la validez de esta aproximación al producir unos efectos de borde muy localizados.

Respecto a la eficiencia de las cumbreras en forma de T se ha comprobado que su tamaño debe ser el apropiado para la longitud de onda, obteniéndose una elevada protección para cumbreras de longitud 1.4λ (más cortas de lo habitual). Finalmente, se ha comprobado la teoría de Simón y Pfretzschner⁶ sobre el índice de calidad de barreras, basada en el comportamiento asintótico de las pérdidas por inserción a grandes distancias de observación.

REFERENCIAS

- [1] Linares, J. I., Gil, D.. (2000) "Evaluación de las pérdidas por inserción en barreras acústicas rígidas semiinfinitas mediante el método de los elementos de contorno". Revista de Acústica, Vol. XXXI (Actas electrónicas del XXXI Congreso nacional de Acústica).
- [2] Muradali, A., Fyfe, K. R.. (1998) "A Study of 2D and 3D Barrier Insertion Loss using Improved Diffraction-based Methods". Applied Acoustics, Vol. 53 (1-3), pp. 49-75.

-
- [3] Chandler-Wilde, S. N., Hothersall, D. C.. (1995) "Efficient calculation of the green function for acoustic propagation above a homogeneous impedance plane". *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 180 (5), pp. 705-724.
- [4] Domínguez, J. (1993). "Boundary elements in dynamics". CMP, Southampton.
- [5] Hothersall, D. C., Chandler-Wilde, S. N., Hajmirzae, M. N.. (1991) "Efficiency of single noise barriers". *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 146 (2), pp. 303-322.
- [6] Simón, F., Pfretzschner, J.. (2000) "Índice de calidad acústica de barreras antirruído". *Anales de Física*, Vol. 95, pp. 64-73.