

anales de  
**ingeniería mecánica**

revista de la asociación española de ingeniería mecánica

año 12 / volumen 4 / diciembre 1998

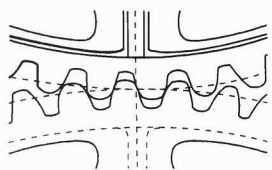


**EDITORES**

**Dr. Francesc Astals Coma**

**Dr. Jaime Gibert Pedrosa**

Este número de la revista recoge las ponencias presentadas en el



**XIII Congreso Nacional  
de Ingeniería Mecánica**

Terrassa, 2,3 y 4 de Diciembre de 1998



**Escuela Técnica Superior  
de Ingenieros Industriales  
de Terrassa**



**Universitat Politècnica de Catalunya**

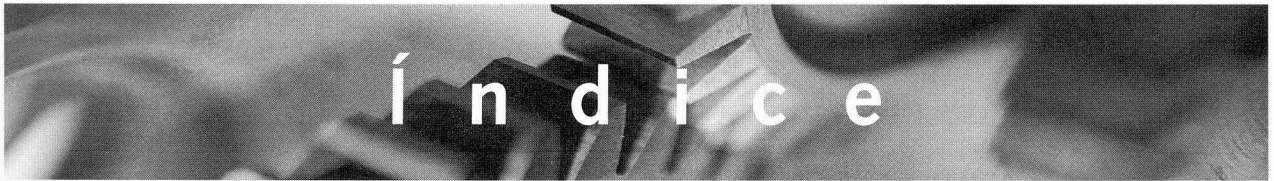
Edita: Asociación Española de Ingeniería Mecánica

Imprime: Serafí Indústria Gràfica Publicitària, S.A.  
Tel. 937 801 529. Terrassa

---

I.S.S.N.: 0212 - 5072

Depósito legal: B-48.379-1998



## VIBRACIONES Y ACÚSTICA

EL COMPORTAMIENTO TERMOELASTICO INESTABLE DE FRENOS DE DISCO COMO ORIGEN DE VIBRACIONES DE BAJA FRECUENCIA Amezua,E., Altuzarra, O., Hormaza, M <sup>a</sup> .V., Pinto, C. ....	1
DETECCION DE DISCREPANCIAS EN TURBINAS DE GAS DE HELICOPTEROS MEDIANTE ANALISIS ESPECTRAL DE VIBRACIONES Artes,M., Garcia, J.C., Gomez, F.J. ....	7
EQUILIBRIO DINÁMICO DE MACHACADORAS DE MANDÍBULAS Balbás,M., Díaz De Villafranca, J.I. ....	15
ESTUDIO DE LA VIBRACION EN EL ASIENTO DE TRACTORES AGRICOLAS Blanco,G., Jimenez, J.R., Gil, J., Agüera,J., Valera,D., Sanchez-Hermosilla, J., ....	21
COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE ESTRUCTURAS HIPERELÁSTICAS Bolaños,F., Ledesma,P, Gomez,L ....	27
UN MODELO NUMERICO PARA LA ESTIMACION DE LA EFICENCIA DE PANTALLAS ACUSTICAS Chirino,F., Aznarez, J. Maeso, O. ....	33
MEJORA DE MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS A PARTIR DE LAS CARACTERISTICAS DINAMICAS EXPERIMENTALES (AME) Fernandes,M.H., Hernandez, J, Llorente, J.I., Albizurri, J., Plaza, S. ....	40
MÉTODO DE ACTUALIZACIÓN DE MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS APLICADO A GRANDES ESTRUCTURAS AEROESPACIALES Marco,V., Lopez, J. ....	46
MOTOR ROTATIVO ULTRASONICO DE ELEVADO PAR. ANALISIS Y OPTIMIZACION Mateo,C., Alvarez, J., Callejon, I. ....	52
PROPAGACION DE ONDAS INELASTICAS EN SUELOS ESTRATIFICADOS Montáns,F.J., Borja, R. I. ....	61
SIMULACION FLEXIBLE DE ENTORNOS ACUSTICOS EN EL INTERIOR DE VEHICULOS INDUSTRIALES Moreno,J.M., Peinado, D., Madrid, J. L., Lecuona, A., Vigil, J., Rodriguez, P. ....	67
AJUSTE DE MODELOS BASADO EN RESPUESTAS DINAMICAS Razeto,M., Pascual, R. ....	75
DIAGNOSIS DE DAÑOS EN CAJAS DE ENGRANAJES MEDIANTE EL ANALISIS DE SUS ESPECTROS DE VIBRACION Roda,C., Artes, M., Garcia, J.C. ....	81

# Un Modelo Numérico para la Estimación de la Eficiencia de Pantallas Acústicas

F. Chirino Godoy, J. Aznárez González y O. Maeso Fortuny  
E.T.S. Ingenieros Industriales. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.  
Campus Universitario de Tafira. 35017- Las Palmas de Gran Canaria.  
E-mail: maeso@cicei.ulpgc.es

## Resumen

Se presenta un modelo de bidimensional de Elementos de Contorno para estimar la eficiencia de diferentes tipologías de pantallas acústicas como estrategia de disminución de ruido producido por el tráfico en el entorno de carreteras. El modelo evalúa la eficacia de cada configuración de pantalla a través del coeficiente de inserción. Se incluye un estudio de pantallas de diferentes geometrías y superficies con distintas propiedades de absorción, y se obtienen conclusiones prácticas para el diseño. La capacidad absorbente del terreno también es considerada.

## Abstract

A Boundary Element model to compute the efficiency of several traffic noise barriers is presented. The model is assumed to be two-dimensional and is able to predict the insertion loss of different barrier profiles. The model is used to compare the efficiency of a wide range of single noise barriers of different height, cross-sectional shape and surface cover. The effects of the ground cover are also considered.

## 1. Introducción.

Las barreras acústicas constituyen un procedimiento cada vez más empleado para disminuir el impacto ambiental producido por el ruido del tráfico. Para su diseño se han empleado diferentes herramientas numéricas, entre las que se encuentra el Método de los Elementos de Contorno (MEC). Esta presenta, frente a otros métodos clásicos, la ventaja de una gran flexibilidad para representar geometrías complicadas con cualquier tipo de características absorbentes. Además, aporta información no sólo del nivel de ruido total sino también de la aportación de cada rango de frecuencias del espectro. La principal desventaja radica en los recursos informáticos necesarios. Otra desventaja es que factores atmosféricos como la presencia de viento no pueden ser tenidos en cuenta. Entre los antecedentes del uso del MEC para estimar la eficiencia de pantallas acústicas pueden citarse entre otros los trabajos de Hothersall et al. (1991a,b) que ya pusieron de manifiesto la buena aptitud del MEC así como el acuerdo entre los resultados numéricos y los experimentales. El presente artículo sigue la línea de estos trabajos, y presenta un modelo de elementos de contorno capaz de evaluar el campo de ruido en las inmediaciones de la pantalla. Mediante este modelo se han obtenido los espectros del coeficiente de pérdida para distintas tipologías de pantallas con diferentes formas y alturas, así como diferentes características absorbentes.

## 2. Modelo bidimensional. Ecuaciones básicas.

Para el caso de tráfico rodado, si se supone una calzada recta y unas condiciones de tráfico denso y continuo, con una pantalla anti-ruido de geometría constante, la situación de propagación acústica es idéntica en cualquier plano perpendicular a la

vía. El problema entonces puede ser estudiado mediante un modelo bidimensional (Fig.1). La fuente consiste en una línea pulsante a una determinada monofrecuencia, sobre un semiespacio de admitancia  $\beta_S$ . Al otro lado del obstáculo, que se caracteriza por una determinada geometría y capacidad absorbente, se encuentra el receptor. El aire se modela como un medio elástico compresible lineal, para el que se admiten las hipótesis clásicas de homogeneidad e isotropía. Los contornos (suelo y obstáculo) absorben, en mayor o menor medida, parte de la energía que incide sobre ellos. Matemáticamente esta condición de contorno puede expresarse como:

$$\frac{\partial p}{\partial n} = -i k \beta p \quad (1)$$

siendo  $p$  la presión acústica,  $n$  la normal exterior y  $k$  el número de onda. Los valores de la admitancia  $\beta$  dependen de la frecuencia y de las características del contorno, y para su obtención se ha adoptado el modelo de Delany y Bazley (1970).

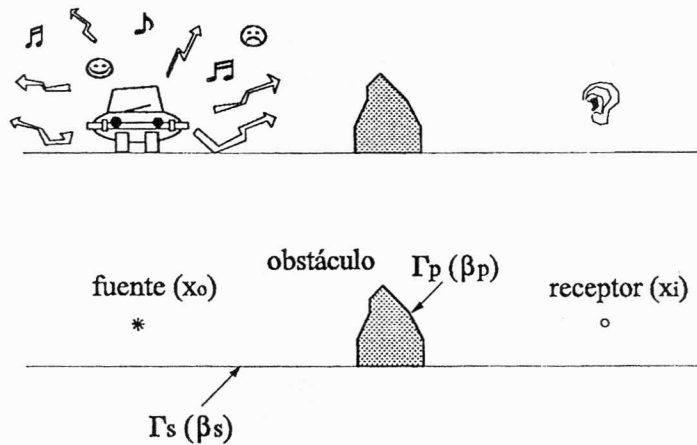


Fig.1. Modelo bidimensional

La ecuación de partida del MEC es la representación integral del campo de presiones. Si se considera como solución fundamental  $p^*$  la correspondiente a un semiespacio sobre un contorno absorbente  $\Gamma_S$  con cierta admitancia  $\beta_S$  (Kawai et al. 1982; Chandler-Wilde et al. 1985), la ecuación presenta integrales extendidas exclusivamente sobre el contorno de la pantalla  $\Gamma_P$ , lo que supone un importante ahorro computacional. En estas condiciones la ecuación integral se escribe como:

$$c_i p_i = p_0^* - \int_{\Gamma_P} \left( \frac{\partial p^*}{\partial n} + i k \beta p^* \right) p \, d\Gamma_P \quad (2)$$

donde  $p_i$  es la presión en el punto de colocación,  $p_0^*$  es la presión en la fuente, y  $c_i$  es un término libre que sólo depende de la geometría local en el contorno. Dividiendo el contorno  $\Gamma_P$  en elementos, cada uno de los cuales definido por sus nodos, y escribiendo la ecuación 2 para todos los nodos de la discretización, se obtiene

finalmente un sistema de ecuaciones lineales (ver p.e. Domínguez, 1993). En este trabajo se han empleado elementos con aproximación parabólica. Para garantizar la precisión del método, el tamaño máximo de los elementos no será superior a la mitad de la longitud de onda de la propagación.

### 3. Espectros de pérdida por inserción.

El modelo numérico se ha empleado para estudiar diversos tipos de pantallas anti-ruido en un rango de frecuencias entre 63 Hz y 4KHz dividido en bandas de tercios de octava. La pérdida por inserción (Insertion Loss,  $IL$ ) será la variable empleada para presentar los resultados. Representa la reducción del nivel de ruido en el receptor por la inserción de la pantalla. Matemáticamente:

$$IL = -20 \log \left| \frac{p}{p^*} \right| \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

donde  $p$  y  $p^*$  representan el módulo de la presión acústica en punto ocupado por el receptor con barrera y sin barrera respectivamente. La fuente siempre está situada 10 m a la izquierda del punto central de la barrera, y el receptor 50 m a la derecha, ambos a nivel del suelo para evitar efectos de interferencia. Fijada esta configuración, los principales factores a estudiar son: altura de la pantalla, tipo de suelo, forma de la pantalla y propiedades absorbentes de la misma. ■ La Fig.2 muestra el espectro de pérdida para una pantalla simple sobre un suelo reflectante. Este tipo de pantallas actúan fundamentalmente por reflexión de la onda incidente y su eficacia aumenta con la altura. Por el mismo motivo, como se aprecia en los resultados, la eficiencia apenas cambia si se mantiene constante el parámetro altura efectiva  $h_{ef}$ . ■ Con el ejemplo de la Fig.3 se evalúa la influencia de las características absorbentes del suelo, aislando este efecto de la influencia del tipo de barrera. Se trata de barreras de formas y materiales diferentes, y en cada caso se ha evaluado el descenso del nivel acústico en la situación de terreno absorbente (con trazo discontinuo en la figura), en comparación con la situación de terreno reflejante. Se ha adoptado un suelo absorbente que puede asimilarse a un terreno blando con substrato vegetal bien aireado. Se concluye que el efecto de la absorción del terreno es importante e independiente del tipo y forma de la barrera. En los problemas que siguen se adoptará siempre un terreno reflejante. ■ La forma de la barrera es un factor que se estudia en las Fig.4 y 5. Para poder comparar los resultados con los correspondientes a la pantalla simple, la altura efectiva se mantendrá siempre constante  $h_{ef}=3$  m. La Fig. 4 muestra que para la pantalla en forma de dique la eficiencia disminuye conforme disminuye la pendiente de sus taludes, lo cual puede atribuirse a que menores inclinaciones favorecen la difracción por detrás del obstáculo. Ello aconseja probar geometrías que dificulten dicha difracción como pueden ser las pantallas en forma de **Y** ó **T**. Este es el caso de la Fig.5, apreciándose un aumento de eficacia frente a la pantalla simple. Esta mejora se debe a que la onda difractada por el "brazo" inclinado hacia la fuente, es reflejada por el brazo inclinado hacia atrás. ■ Otra opción para intentar aumentar la eficacia de una pantalla es emplear en su construcción materiales con cualidades absorbentes

(trazo de puntos en las Fig. 6, 7 y 8). Se ha adoptado un tipo de superficie con las propiedades de una fibra de vidrio de  $35 \text{ Kp/m}^3$  y 10 cm de espesor. En el caso de pantallas que funcionan por reflexión, como la pantalla simple, un tratamiento absorbente en la superficie enfrentada con la fuente apenas modifica su eficiencia (Fig.6). Sin embargo, para pantallas en **Y** ó **T** esta estrategia resulta muy interesante cuando se emplea un material absorbente en la parte superior de la pantalla (Fig.7), ya que entonces se produce un efecto de absorción de la onda que se está difractando por encima de la barrera. La mejora es particularmente acusada a altas frecuencias (p.e. en el entorno de 2000 Hz es superior a 30 dB). Las mismas conclusiones pueden obtenerse del problema presentado en la Fig.8. Se aprecia una eficiencia semejante en los casos de  $\theta=30^\circ$  y  $\theta=60^\circ$ , y quizás la explicación se encuentra en que la geometría  $\theta=30^\circ$  tiene más capacidad de absorber onda difractada, pero la de  $\theta=60^\circ$  refleja mejor la onda incidente, de manera que ambos efectos se compensan. En cualquier caso se deduce que es preciso un estudio más riguroso de la geometría de la pantalla.■ En la Fig.9 se evalúa el efecto que provoca una elevación de la calzada. Lógicamente se aprecia un menor nivel acústico en el receptor a medida que aumenta la altura de la vía. En la Fig.10 se estudia el caso combinado de vía elevada con una pequeña pantalla. Se deduce que el efecto de pérdida es fundamentalmente producido por el apantallamiento (estrategia que resulta muy económica en comparación con la de elevar la vía).■ Finalmente en la Fig.11 se estudia la influencia de incluir una segunda pantalla del otro lado de la fuente, en relación al caso de sólo una pantalla entre fuente y receptor. Se obtiene mayor nivel de ruido debido a las reflexiones entre pantallas. Como también se aprecia en la figura, este efecto se reduce si las pantallas se someten a un cierto grado de inclinación sin cambiar la altura efectiva.

#### 4. Conclusiones.

Se ha presentado un modelo de Elementos de Contorno para el estudio de problemas de acústica ambiental. El modelo es bidimensional, y se ha aplicado a la determinación de la eficiencia de diferentes tipos de pantallas acústicas en la reducción del ruido de tráfico. Se han analizado la influencia de distintos factores como son la altura de la barrera, su forma, y la capacidad absorbente del suelo y de la propia barrera. También se ha estudiado la influencia de elevar la vía y del doble apantallamiento. Se observa que la eficacia de una pantalla está influenciada por su geometría, y que pantallas de perfiles semejantes producen valores diferentes de pérdida por inserción. Es necesario realizar un estudio más profundo de los efectos locales que se producen en los contornos más altos de la barrera e intentar buscar formas que minimicen el nivel de ruido percibido por el receptor. En este sentido el MEC, por su gran versatilidad, se revela como una herramienta muy apropiada en problemas de acústica de exteriores en general, y en concreto en el diseño de pantallas anti-ruido al igual que en el estudio de otras alternativas como la depresión o elevación de vías que permitan minimizar el impacto.

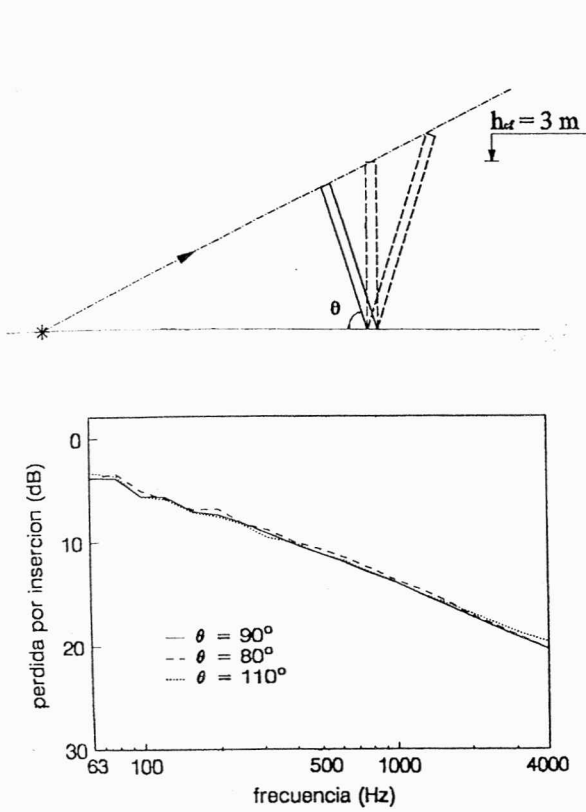


Fig.2 Pantalla simple. Superficies reflejantes

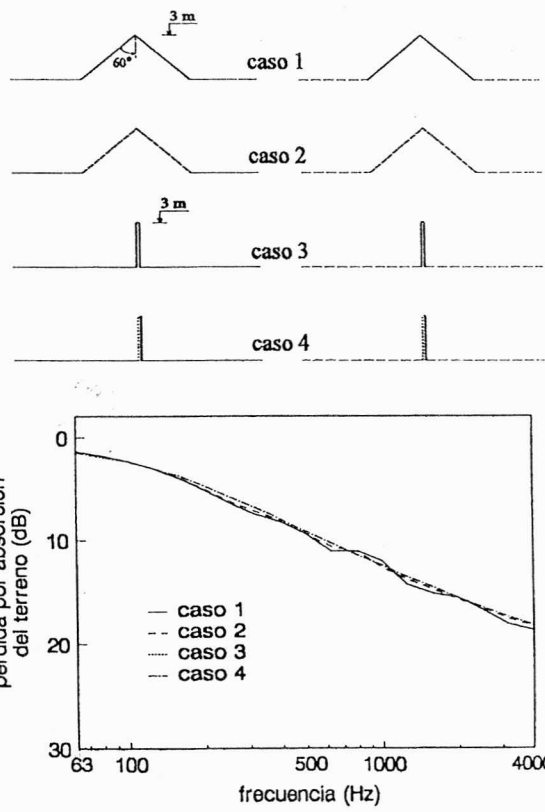


Fig.3. Espectro de pérdida por absorción del suelo

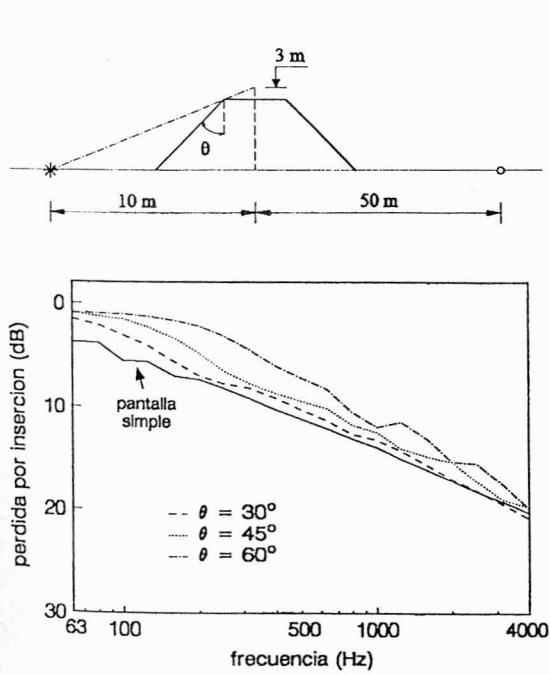


Fig.4. Sección en dique. Superficies reflejantes

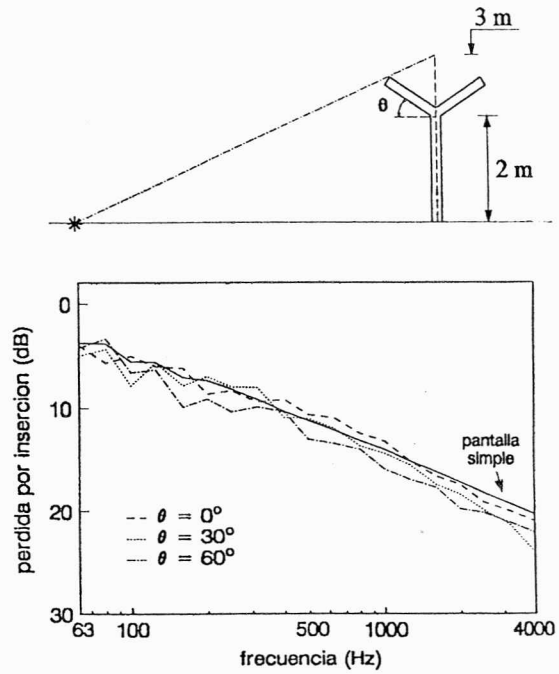


Fig.5. Pantalla en Y o T. Superficies reflejantes.



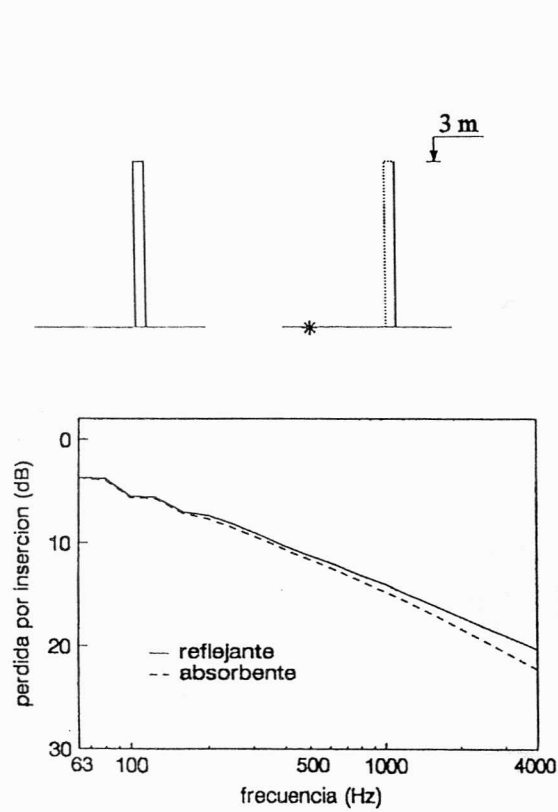


Fig.6. Pantalla simple. Superficies absorbentes

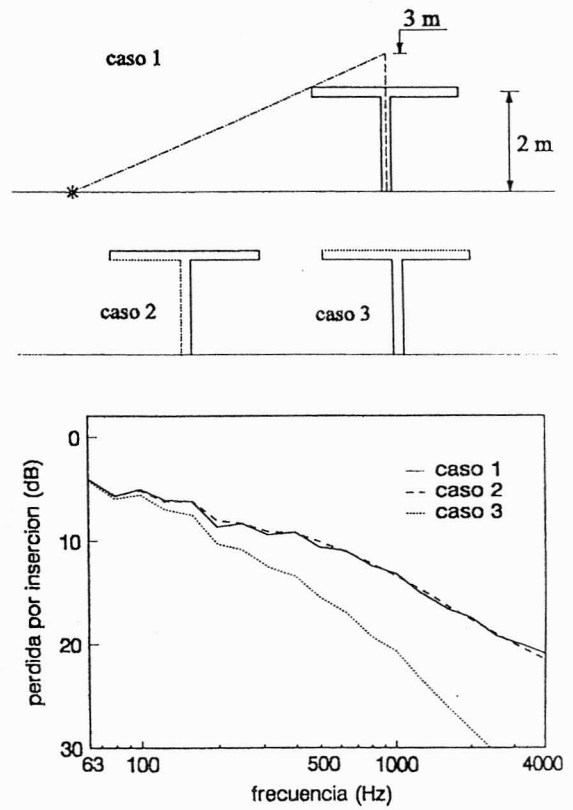


Fig.7. Pantalla en T. Superficies absorbentes

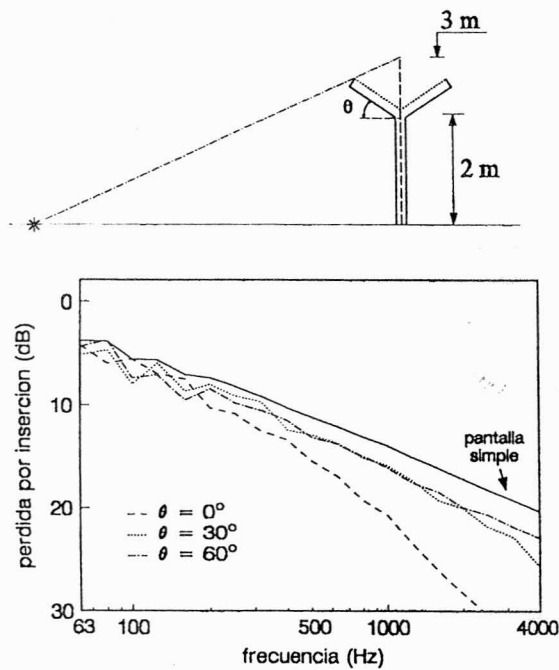


Fig.8. Pantalla en Y. Superf. superior absorbente

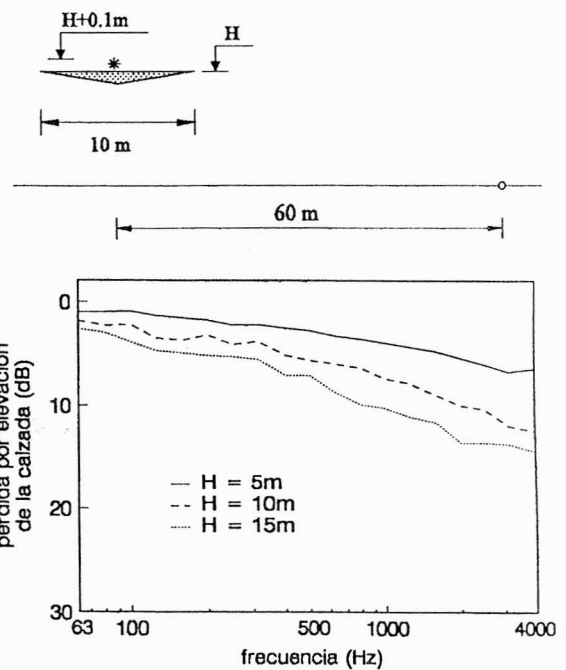


Fig.9. Pérdida por elevación de la calzada

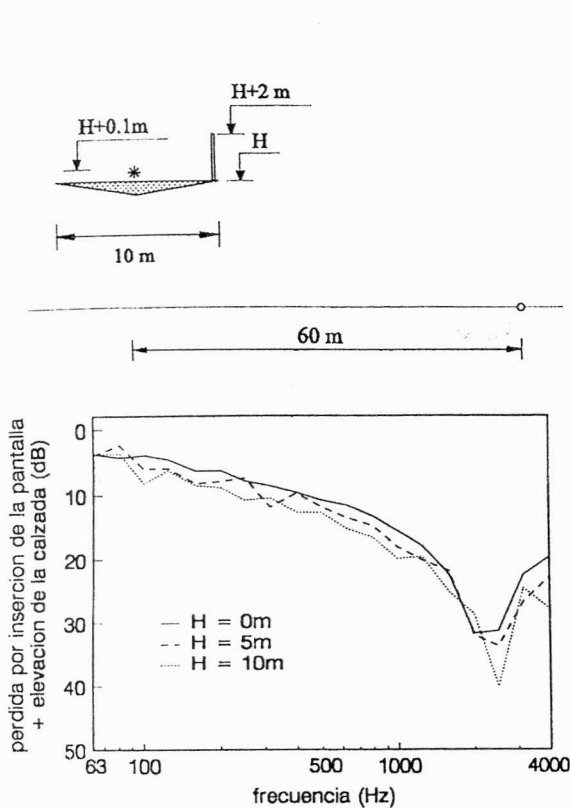


Fig.10. Calzada elevada con apantallamiento

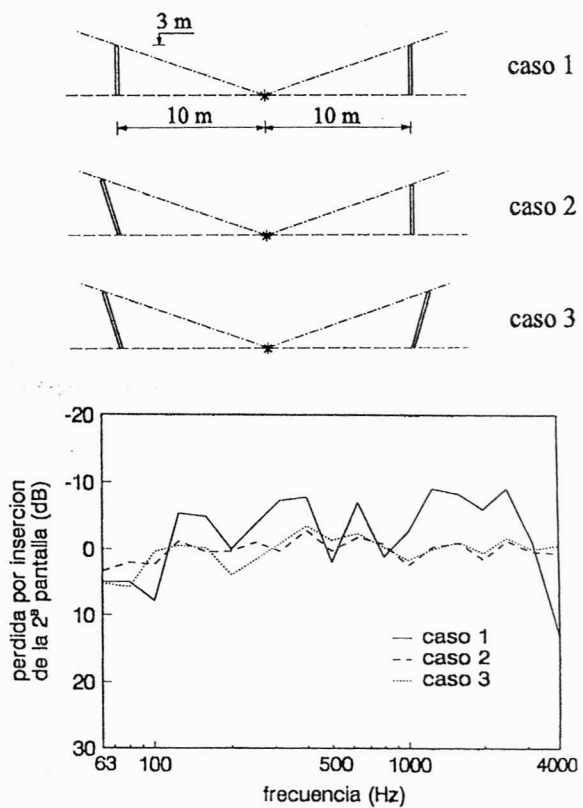


Fig.11. Doble apantallamiento

## 5. Agradecimientos.

Los autores agradecen la financiación aportada por la Dirección General de Universidades e Investigación del Gobierno de Canarias (Proyecto 2643P/94) para la realización de este trabajo.

## 6. Referencias.

- CHANDLER-WILDE, S.N. y HOTHERSALL, D.C. (1985) "Sound propagation above an inhomogeneous impedance plane". *Journal of Sound and Vibration*, 98 (4), pp. 475-491.
- DELANY, M.E. y BAZLEY, E.N. (1970) "Acoustical properties of fibrous absorbent materials". *Applied Acoustics*, 3, pp. 105-116.
- DOMÍNGUEZ, J. (1993) "Boundary elements in dynamics". CMP-Elsevier.
- HOTHERSALL, D.C., CHANDLER-WILDE, S.N. y HAJMIRZAE, M.N. (1991) "Efficiency of single noise barriers". *Journal of Sound and Vibration*, 146 (2), pp. 303-322.
- HOTHERSALL, CROMBIE, D.H. y D.C., CHANDLER-WILDE, S.N. (1991) "The performance of T-profile and associated noise barriers". *Applied Acoustics* 32, pp. 269-287.
- KAWAI, T., HIDAKA, T. y NAKAJIMA, T. (1982) "Sound propagation above an impedance boundary". *Journal of Sound and Vibration*, 83, pp. 125-138.