

## ¿Se justifican las pantallas acústicas con cumbre circular?

*J. Pfretzschner, F. Simón, M.J. Burgos.*

*Instituto de Acústica (CSIC)  
Serrano 144.  
Madrid.*

### INTRODUCCIÓN

La utilización de pantallas acústicas con objeto de paliar la contaminación por ruido de tráfico sobre los habitats en los alrededores de las grandes vías de circulación ha experimentado un notable crecimiento durante los diez últimos años. A título de ejemplo en EEUU se calcula más de 1500 km de pantallas acústicas construidas en todo el país, teniendo previsto un incremento notable para fechas venideras.

Sin embargo, las pantallas acústicas constituyen un nuevo elemento intrusivo medio-ambiental sobre la flora y fauna, así como social, tanto para los conductores de los vehículos como para los habitantes situados detrás de las mismas. Debido a estas razones, en los últimos cinco años existen algunos estudios encaminados a la adición en las pantallas de elementos absorbentes así como a variar su constitución, alterando sus perfiles tanto en su sección recta como longitudinalmente, con objeto de incrementar sus posibilidades de atenuación. En este sentido se han realizado algunos modelos matemáticos de predicción pero sobre todo ensayos sobre modelos a escala reducida para pasar posteriormente a modelos a escala real de aquellos, en los que los resultados presentan valores prometedores como sucede en las pantallas en T o con cumbres circulares; caso que se analiza en el presente estudio.

### ASPECTOS TEÓRICOS

En general, para pantallas o barreras cuya geometría (sección recta) se aleja de la de un plano semi-infinito sin dimensiones en su espesor, el único tratamiento físico-matemático posible, consiste en la aplicación de la teoría de elementos finitos o elementos de frontera. Estos procedimientos, al tratarse de métodos numéricos tienen el inconveniente de un gran consumo de tiempo de cálculo y por tanto de una pobre inferencia en la generalización de resultados.

Sin embargo, existen casos de geometrías sencillas en donde es posible aplicar un desarrollo analítico para describir el proceso físico-matemático involucrado, a través de la teoría geométrica de la difracción.

El caso más sencillo se trata de una pantalla con cumbre circular situada en el borde superior en el que se produce el fenómeno de la difracción. Este caso fue estudiado por J. B. Keller en los años cincuenta [1] para ondas electromagnéticas incidentes, y retomado de nuevo en los sesenta [2]. Posteriormente Fujiwara y Furuta [3] utilizaron la formulación matemática de Keller, aplicándola a un modelo a escala real del cual obtuvieron las pertinentes conclusiones sobre el incremento de atenuación conseguido.

### EXTENSIÓN DEL MODELO TEÓRICO DE KELLER

En la aplicación del modelo estudiado por Keller y debido a las posiciones de la fuente y receptor respecto de la pantalla, solo se tiene en cuenta una reflexión simple en la pared posterior de la misma; defecto en el que también incurren Fujiwara y Furuta.

El modelo teórico que en este estudio se propone, al encontrarse el emisor en una cota inferior al borde de la cumbre circular, de radio  $b$  (como es habitual) presenta la posibilidad de una primera reflexión en la cara anterior de la pantalla, contemplando así mismo que ésta tenga dimensiones transversales (espesor).

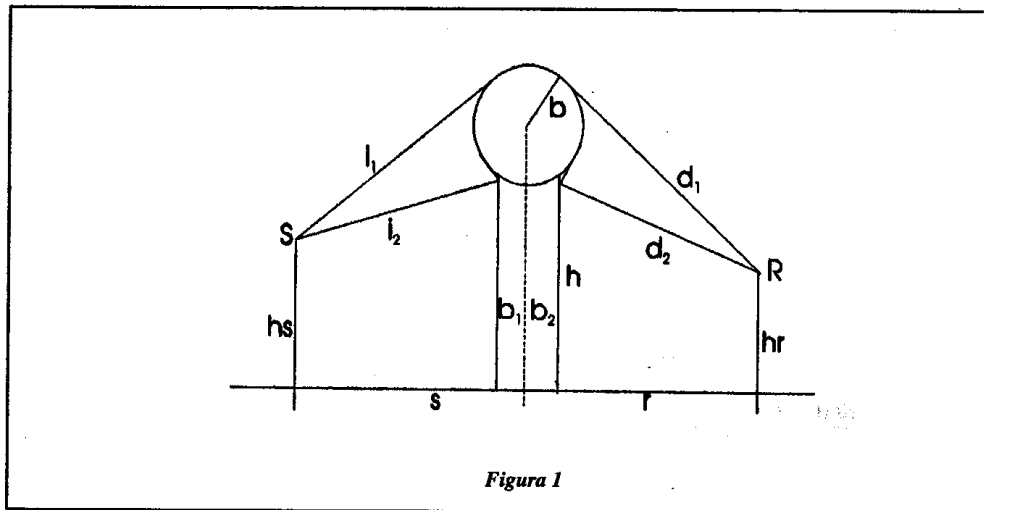


Figura 1

La figura 1 muestra la disposición de los elementos que entran en juego, en donde los parámetros geométricos son: coordenadas del emisor ( $h_s, s$ ), receptor ( $h_r, r$ ) y constitutivos de la pantalla (radio de la cumbre,  $b$  y espesor de la pantalla  $b_1 + b_2$  y altura  $h$ ).

Los caminos de los rayos acústicos que alcanzan al receptor vendrán dados por las combinaciones  $i_1 + d_1, i_1 + d_2, i_2 + d_1, i_2 + d_2$  mas los respectivos arcos recorridos en cada caso sobre el perímetro del círculo (de fácil determinación por consideraciones geométricas).

Siguiendo la formulación de Keller, y considerando que en acústica, los rayos rampantes que recorren la superficie de la cumbre, sufren una gran atenuación (de tipo exponencial), los potenciales de velocidad que alcanzan al receptor,  $R$ , (proporcionales a la presión acústica instantánea) tras sufrir el proceso de difracción por la superficie de la cumbre, son de la forma:

$$\Phi_i \approx \frac{A_0 e^{jk i_1} \sqrt[3]{kb} e^{j\pi/2} C_0 e^{j(\tau_0 \sqrt[3]{kb} + kb) t_m} e^{jk d_1}}{i_1 \sqrt{2k} d_1} \quad l=1,2 \quad m=1..4$$

en donde  $A_0$  es la amplitud de vibración de la fuente,  $k$  el número de onda ( $k=2\pi/\lambda$ ),  $C_0$  y  $\tau_0$  son constantes que dependen de la impedancia acústica del cilindro (para cilindros reflectantes  $C_0=1.53...$ ;  $\tau_0=0.808..e^{j\pi/3}$ ), y  $t_m$  son los arcos recorridos sobre la superficie del cilindro con origen en los puntos de tangencia de los rayos incidentes y salida en los puntos de tangencia de los difractados (cuatro en total).

El cálculo de las pérdidas de inserción,  $IL$ , se establece a partir de las diferencias entre los niveles de presión acústica en presencia y en ausencia de la pantalla con cumbre. Si el potencial de velocidad de la onda acústica incidente es  $\Phi_0 = e^{jk d_0}/d_0$ , siendo  $d_0$  la distancia directa  $SR$  (en ausencia del dispositivo), queda finalmente:

$$IL = -10 \log \left| \sum_{l,m} d_0 C_0 \sqrt[3]{kb} e^{j[(\tau_0 \sqrt[3]{kb} + kb) t_m + \pi/2]} e^{jk(i_1 + d_1)} / i_1 d_1 \sqrt{2k} \right|^2, \quad l=1,2 \quad m=1, \dots, 4$$

El módulo del sumatorio da lugar a dieciseis términos, cuatro cuadráticos y seis cruzados cuya suma expresada en dB proporcionará el valor de las pérdidas de inserción.

## RESULTADOS

En el estudio de la atenuación acústica introducido por las pantallas anti-ruido cabe atender a dos aspectos fundamentales: variación de la presión difractada (o  $IL$ ) con la distancia, o bien para situaciones fijas emisor-receptor, variación de ambos parámetros con la frecuencia (espectro).

Con un criterio de comparación, las figuras 2 y 3 muestran ambos aspectos para una pantalla de tres metros de altura con una cumbre de 25 cm de radio ( $b$ ) y de una pantalla semi-infinita de altura equivalente (ambas se suponen de dimensiones transversales despreciables:  $b_1=b_2=0$ ).

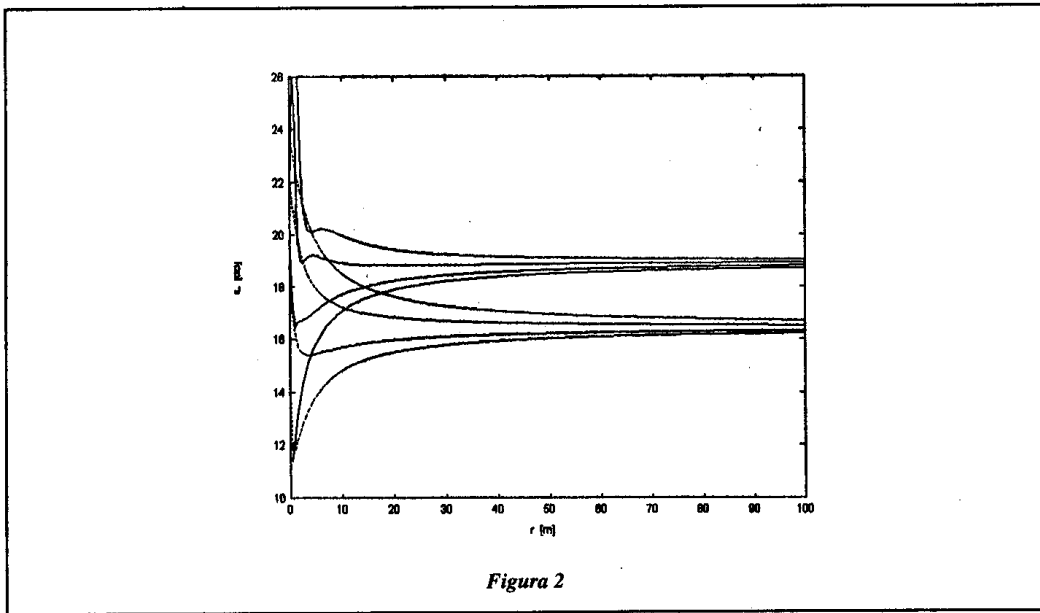


Figura 2

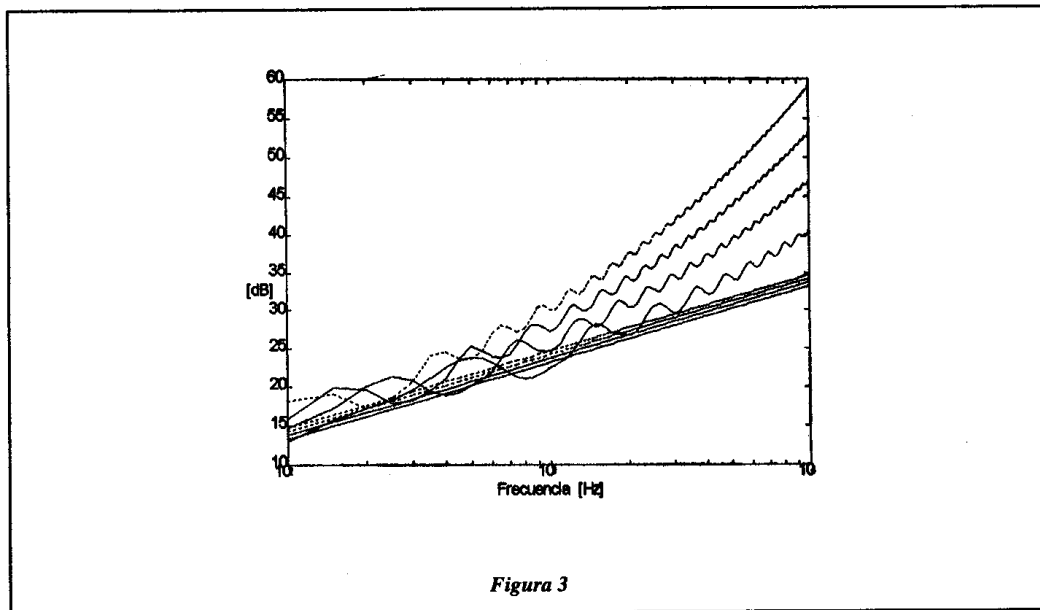


Figura 3

En la figura 2 se representa la variación con la distancia barrera -receptor ( $r$ ) de las dos familias de curvas (superior: pantalla con cumbrera; inferior: pantalla semi-infinita), para alturas de recepción  $h_r$ , variando entre  $0.5$  y  $3m$ , en las que las coordenadas del emisor se han mantenido constantes ( $h_s=0.5m$  y  $s=5m$ ) y para una frecuencia de emisión de la fuente de  $700$  Hz, frecuencia representativa del ruido de tráfico ponderado en  $dB$ A. En cada familia de curvas  $IL(r, h_r)$  y para posiciones próximas a la pantalla ( $r < 50m$ ) se obtienen valores de  $IL$  crecientes a medida que  $h_r$  disminuye. A medida que  $r$  aumenta, independientemente del valor de  $h_r$ ,  $IL(r, h_r)$  tiende hacia un valor asintótico característico de las condiciones geométricas del problema. Puede apreciarse, para esta situación de valor asintótico de  $IL$ , que la protección acústica suministrada por la pantalla con cumbrera es del orden de  $2.5$   $dB$  superior para esta situación, lo que está de acuerdo con los datos experimentales conseguidos a través de medidas de campo.

La figura 3 muestra la variación de  $IL$  [dB] con la frecuencia ( $10^2 - 10^4$  Hz), teniendo como parámetro de la familia el valor del radio,  $b$ , de la cumbrera y para situaciones fijas del emisor ( $s=7m$ ,  $h_s=0.5m$ ) y receptor ( $r=30m$ ,  $h_r=0.5m$ ). En la figura se han superpuesto análogamente al caso anterior, las dos familias de

curvas correspondientes a pantallas cuyo radio de cumbrera toma los valores  $b=0.25; 0.50; 0.75$  y  $1m$ , y cuyas curvas de  $IL$  crecen de forma no lineal a medida que aumenta  $b$ , manteniendo  $h$  fijo en este caso; mientras que para la situación de pantalla semi-infinita, la altura equivalente se incrementa en el valor de  $b$  para cada situación y por tanto el valor de  $IL$  de forma lineal con la frecuencia y  $b$ .

Como es bien conocido, para pantallas simples, al doblar la frecuencia de emisión, se incrementa en  $3\text{ dB}$  el valor de  $IL$  (o lo que es lo mismo  $10\text{ dB/década}$ ), lo que en una representación semilogarítmica, como es el caso de la figura, se traduce en líneas rectas cuya ordenada en el origen se incrementa en la proporción correspondiente al incremento de  $h$  debido a la adición de la cantidad  $b$ . Sin embargo, en el caso de pantallas con cumbrera, la  $IL$  es proporcional al recorrido del rayo rampante sobre la superficie del cilindro (También depende de la impedancia acústica del material constitutivo de la cumbrera) así como de la relación de  $b/\lambda$  de forma que a medida que  $\lambda$  disminuye  $IL$  aumenta en una proporción de tipo no lineal, como se aprecia en la figura 3.

### CONCLUSIONES

La utilización de pantallas con cumbrera, puede resultar rentable para distancias cortas receptor-barrera, distancias a las que presenta su mayor grado de protección, como sucede en el caso de autopistas elevadas sobre el nivel del terreno y para cumbreras cuyo radio sea compatible con la estructura de la pantalla.

El segundo aspecto a destacar es su mayor atenuación relativa en función de la frecuencia cuando se comparan con pantallas semi-infinitas de altura equivalente. Este es un punto interesante a considerar para situaciones en el que el receptor se encuentra relativamente próximo a la pantalla, ya que si bien para distancias cortas la atenuación sonora por propagación acústica en el aire es prácticamente independiente de la frecuencia, y despreciable (conservando el espectro toda su riqueza), en el caso de las pantallas con cumbrera, la atenuación se incrementa de forma no lineal a medida que aumenta la frecuencia y con ello disminuye la sonoridad del campo acústico difractado por el dispositivo.

En el presente estudio se ha desarrollado un algoritmo de aplicación más generalista, especialmente indicado al campo de diseño y utilización de pantallas acústicas, cuya idoneidad deberá ser comprobada a través de medidas de campo.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] J. B. Keller, "Diffraction by an aperture", J. Appl. Physics, 1957.
- [2] J. B. Keller, D. M. Magiros, "Diffraction by a Semi-Infinite Screen With a Rounded End", Comm. on Pure and Appl. Mathem., 1961.
- [3] K. Fujiwara, N. Furuta, "Sound Shielding Efficiency of a Barrier with a Cylinder at the Edge", Noise Cont. Engin. Journ., 1991.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro del Proyecto PB91-0884, financiado por la DGICYT.