

Barreras acústicas y ruido de tráfico

Jaime Pfretzschner
Francisco Simón
Instituto de Acústica (CSIC)

Introducción

En nuestro país, durante los últimos años, el incremento de barreras acústicas a lo largo de las vías de penetración y circunvalación de las grandes ciudades ha sufrido un incremento espectacular, cuyo motivo se debe a la concienciación por parte de los ciudadanos y de las administraciones, que la polución por ruido de tráfico es uno de los agentes contaminantes que causan un gran deterioro en la calidad de vida.

La bibliografía internacional sobre el tema es muy abundante, en especial durante los veinte últimos años, ya que éste ha preocupado a la comunidad científica desde hace más de tres décadas, como lo demuestran los trabajos pioneros de Redfearn [1], Maekawa [2] y Kurze [3] entre otros.

Las soluciones de ingeniería aportadas a situaciones particulares son muy variadas, y en todas ellas se intenta rentabilizar el binomio coste - eficacia, ya que no debe despreciarse el elevado importe de estos elementos protectores, debido a las grandes superficies que han de cubrirse. En nuestro país, las soluciones aportadas deben calificarse de conservadoras, no encontrándose ninguna de las innovaciones que pueden hallarse en la literatura especializada.

El propósito de este trabajo se centra en la identificación de diferentes sis-

temas de pantallas antiruido, su posible caracterización mediante índices adecuados, así como los condicionantes que pueden recomendar, o no, su instalación, terminando con una propuesta de calificación integral de las propiedades intrínsecas y extrínsecas de una pantalla que sirva para su clasificación y baremo.

Teorías de atenuación en barreras

Propagación en espacios libres.

Previamente a la instalación de una pantalla antiruido, se debe determinar la topografía de los emplazamientos del emisor y receptor, así como las características acústicas del terreno, y en su caso los condicionantes atmosféricos y /o climatológicos de dicho emplazamiento, ya que de todo ello dependerá la eficacia del sistema.

Para simplificar el problema, en la figura 1, se considera solo la influencia del terreno en una propagación en espacio abierto. Se observan dos posibles caminos desde la fuente *S* al receptor *R*. En ausencia de una pantalla, el nivel de presión acústica en *R* corresponde a la suma de ambas contribuciones, en las que el rayo directo y el reflejado interfieren, pudiéndose generar una onda de "terreno" y una onda superficial que añaden una gran complejidad al proceso, aunque la última de ellas no producirá un efecto apreciable sobre el nivel total. Esta fenomenología comenzó su estudio en los años 50, pudiéndose encontrar una buena sistematización en los trabajos de Attenborough et al. [4] y de Chien y Soroka [5]. El margen de frecuencias en los que se produce una interferencia destructiva depende de forma crítica de la resistividad al flujo de aire de la superficie del terreno, que es la causante de los cambios de fase de-

bidos a la reflexión de la onda esférica incidente, (Delany y Bazley [6], Embleton [7]). Hutchins et al. [8], utilizando modelos a escala en los que se simula un terreno con hierba, encuentran que el rango de frecuencias en los que se crea una atenuación incremental respecto a la de propagación en campo libre presentan un mínimo muy representativo en la banda de 500 Hz (fig. 1.b). Posteriormente estos datos se ratifican en experiencias reales.

Cuando se interpone una pantalla antiruido entre un emisor y un receptor, la contribución de la onda directa se reemplaza por la onda difractada sobre la cumbre de la pantalla, con lo que reduce su acción. Sin embargo, la influencia de la interferencia debida a la onda reflejada *SGR* de la fig. 1, no resulta tan significativa, ya que su camino queda interrumpido por la interposición de la pantalla. Consecuentemente, la eficacia de la pantalla, medida en término de atenuación extra, con referencia a la que existía en ausencia de la pantalla (pérdidas de inserción) se reduce en la región de los 500Hz. Scholes et al. [9] demostraron experimentalmente la confirmación de estos hechos, por lo que en ciertas circunstancias, la interposición de una pantalla puede producir los efectos contrarios a los deseados.

La solución analítica del problema requiere de una modelización adecuada de la impedancia del terreno donde se produce la reflexión. La solución más sencilla la presentan Delany y Bazley en los 60 [10] a través de una función empírica que depende únicamente de la variación respecto a la frecuencia de la resistividad al flujo de aire del terreno, considerado como un absorbente de reacción local. Posteriormente varios autores, Attenborough [11], Champoux [12] y Allard [13] entre otros, presentan algoritmos más

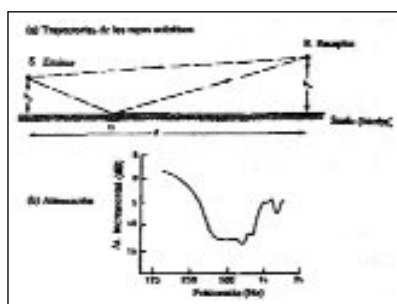


Figura 1.

elaborados y de mejor ajuste, en función de las restantes características asociadas a las propiedades acústicas de materiales absorbentes, como son la porosidad y la tortuosidad.

Algoritmos de predicción.

Partiendo de los estudios de Sommerfeld [14], Maekawa a finales de los años 60, establece un ábaco para el cálculo de la atenuación por pérdidas de inserción, IL , en función del número de Fresnel, N , que tiene en cuenta la diferencia de caminos entre la onda difractada por el borde de la pantalla y el rayo directo. En la misma época Keller [15] establece la teoría geométrica de la difracción, GTD , que da cuenta precisa de los fenómenos involucrados en el proceso de forma analítica. Los últimos 30 años presentan una profusión de bibliografía relacionada con estos aspectos, debiendo resaltar los trabajos de Kurze - Anderson y Ullrich entre otros, ya que sus algoritmos son de amplia aplicación en los programas de predicción utilizados en diferentes normas y reglamentos, ingenierías, y "software" comercial. También existe una gran abundancia de procedimientos de cálculo numérico basados en la teoría de elementos de contorno, muy apropiada para el caso en que las cumbreras no presenten geometrías sencillas, o se disponga de materiales absorbentes concentrados en distintas zonas de la superficie de una pantalla.

Las IL proporcionadas por una pantalla con una determinada altura, disminuyen con la altura y distancia del receptor respecto de la pantalla, para una posición fija del emisor, así como a medida que aumenta la longitud de onda de la señal emitida, lo que justifica la baja eficacia de las pantallas para las componentes frecuenciales más bajas del ruido de tráfico. En todos los estudios se parte de la suposición de un aislamiento infinito de la estructura de la pantalla; es decir no pasa energía acústica a su través. En la práctica y a efectos económicos es suficiente considerar que las pérdidas por transmisión sean 10 dB inferiores a las IL con objeto de calcular la masa superficial unitaria mínima para la construcción de la pantalla, (Pfretzschner et al. [16]).

Pantallas absorbentes.

Cuando se disponen paralelamente a ambos lados de una carretera pantallas verticales, el sonido se refleja de forma múltiple, con lo que el incremento del nivel sonoro resultante de esta reverberación degrada la eficacia del sistema. Estos efectos han sido investigados por Menge [17], Slutsky [18], Bowly et al. [19]. Paneles absorbentes en las superficies que dan al tráfico sirven para reducir esta contribución indeseada.

Existen diversos sistemas empleados como pantallas absorbentes:

- Paneles o contenedores huecos que incorporan material fibroso. La superficie orientada al tráfico está perforada (en un determinado porcentaje) de forma que la energía acústica incidente se degrada a través de procesos de pérdidas viscosas. La cara posterior de los paneles debe ser opaca con objeto de conseguir el deseado aislamiento acústico del dispositivo.
- Sistemas que utilizan paneles contruidos con materiales de estructura porosa. Para estos materiales, la absorción se consigue a través de procesos combinados de pérdidas inerciales y de fricción en los poros interconectados de la capa permeable. Ejemplos incluyen hormigón poroso aligerado, paneles formados con virutas de madera unidas con cemento, paneles de hormigón con granos de sílice compactados, y más recientemente paneles que incorporan grana de goma recuperada de neumáticos usados, Pfretzschner et al [20].
- Sistemas que incluyen cavidades resonantes. Estos paneles que pueden estar formados por materiales cerámicos forman unos resonadores H sintonizados a las frecuencias más representativas del ruido de tráfico, Moreno et al. [21].

Se debe hacer especial hincapié en que la eficacia de estos sistemas radica en que las bandas de mayor absorción deben coincidir con las de mayor aporte energético representadas en la curva A del espectro normalizado de ruido de tráfico.

Barreras con cumbrera.

De forma complementaria a los diferentes tipos y disposiciones de materiales absorbentes en las pantallas anti-ruido, sus formas se han alterado tanto en su sección recta como en sus perfiles longitudinales con objeto de incrementar su eficacia. Normalmente este tipo de estudios se han realizado sobre modelos a escala reducida pasando posteriormente, en aquellos modelos prometedores a ensayos a escala real.

Los primeros ensayos se deben a May y Osman [22] en los 80, que realizaron una serie de modelos que incluían pantallas con secciones rectas de diferentes espesores, pantallas con cumbreras terminadas en T y cuyo tramo superior presentaba distintas dimensiones, y pantallas terminadas en Y vertical o invertida. Para todos estos casos encontraron incrementos de IL que oscilaban entre 0.5dB y 6.5dB (este último caso corresponde al tramo superior de la T igual a la altura de la pantalla), respecto a una pantalla seminfinita de altura equivalente, tomada como referencia.

Más recientemente Hothersall et al.[23] en 1991, utilizando métodos numéricos (con elementos de frontera) repiten los ensayos de los autores anteriores, incluyendo además otros elementos difractores en la cumbrera de las pantallas a modo de pequeñas pantallas situadas paralelas a la pantalla portante en su parte superior y separadas de la misma una determinada distancia en toda su longitud. Estudiaron así mismo la altura de estos dispositivos adicionales así como la inclusión de material absorbente en sus caras interiores, llegando a obtener incrementos adicionales de IL del orden de 3dB.

Otras experiencias como las de Wirt [24] en las que propone pantallas en forma de diente de sierra (con lo que se conseguiría una menor resistencia al viento así como una mayor transparencia óptica del lado del tráfico debido al efecto estroboscópico) no parece tener los resultados esperados (tan solo una degradación de 1.5 a 4 dB respecto a una pantalla de altura equivalente).

Por último las propuestas de Fujiwara et al. [25] basadas en los estudios teóricos formulados por Keller en los años 70, muestran la posibilidad de utili-

zar cumbreras de sección circular con objeto de incrementar las IL de una pantalla consiguiendo del orden de 2 a 3dB adicionales de atenuación. Pfretzschner et al.[26] demuestran la idoneidad de este sistema para pequeños ángulos de difracción; es decir se trata de una modificación muy apropiada para pantallas situadas en autopistas elevadas sobre la topografía del terreno.

Como conclusión a este apartado, debe mencionarse que debido al encarecimiento sobre el coste de pantallas usuales, este tipo de soluciones son recomendables cuando la altura de las pantallas debe estar limitada por razones medioambientales, o cuando el sobreprecio debido a un incremento de altura de las correspondientes pantallas resulte excesivo.

Indices de calificación

Con objeto de normalizar el mercado, por parte de las administraciones, fabricantes y usuarios resulta muy conveniente poder determinar mediante índices de evaluación global las características tanto intrínsecas como extrínsecas de una pantalla determinada para su instalación ante una situación de fuerte contaminación acústica por ruido de tráfico. La normativa alemana [27] describe los procedimientos de medida en laboratorio y cálculos consiguientes para la determinación y clasificación mediante índices globales del aislamiento y características absorbentes de una pantalla acústica. Estos procedimientos, con ligeras modificaciones están siendo adoptados por la normativa europea [28]. Con ello,

las características intrínsecas de una pantalla quedan resumidas mediante dos números que permiten su calificación como reflectante, absorbente o altamente absorbente. Queda sin embargo por resolver la magnitud más importante ligada al poder de protección que uno de estos dispositivos es capaz de proporcionar y en este sentido se encuentra la propuesta innovadora de Instituto de Acústica - CSIC, (Simón [29]) basada en la existencia de un valor asintótico de las pérdidas de inserción, $IL(r)$.

Agradecimientos.

Este trabajo se enmarca dentro del Proyecto de investigación AMB 95-0101 financiado por el Plan Nacional de I+D.

Referencias

- [1] Redfean, S. W. "Some acoustical source-observer problems." *Phil. Mag.* ser. 7(30), pp. 223, (1940)
- [2] Maekawa, Z. "Noise reduction by screens." *Appl. Acoust.* vol. 1, pp. 157-73, (1968)
- [3] Kurze U.J., "Noise reduction by barriers." *J. Acoust. Soc. Am.* vol.55, pp. 504-18, (1974)
- [4] Attenborough K., Hayek S., Lawter J. "Propagation of sound above a porous half-space." *J. Acoust. Soc. Am.* Vol.68, pp. 1493-1501, (1980).
- [5] Chien C. F. Soroka, W. "Sound propagation along an impedance plane." *J. Sound Vib.* vol.43(1), pp. 9-20, (1975)
- [6] Delaney M E., Bazley E. N., "Monopole radiation in the presence of an absorbing plane." *J. Sound Vib.* vol. 13, pp. 269-79, (1970)
- [7] Embleton T. F., Piercy J. E., Olson N., "Outdoor sound propagation over ground of finite impedance." *J. Acoust. Soc. Am.* vol.59, pp. 267-77, (1976)
- [8] Hutchins D.A., Jones H.W., Russell L.T., "Model studies of barrier performance in the presence of ground surfaces." *J. Acoust. Soc. Am.*, vol 6, pp. 1807-1816, (1984)
- [9] Scholes W.E., Salvidge A.C., Sargent J.W. "Field performance of a noise barrier", *Journ. of Sound and Vibration*, vol 16, pp. 627-642, (1971).
- [10] Delaney M E., Bazley E. N., "Acoustical properties of fibrous absorbent materials." *Appl. Acoust.* vol. 3, pp. 105-16 (1970)
- [11] Attenborough K., "Acoustical characteristics of rigid fibrous absorbents and granular materials." *J. Acoust. Soc. Am.* vol.73, pp. 785-799, (1983)
- [12] Allard J. F., "Propagation of sound in porous media." Elsevier Science publishers LTD 1993
- [13] Sommerfeld, "Mathematische theorie der diffraction." *Math. Ann.* vol. 47, pp. 317-74, (1896)
- [14] Keller J. B., "Geometrical theory of diffraction." *J. Opt. Soc. Am.* vol. 52(2) pp. 116-30, (1961)
- [15] Pfretzschner J., de la Colina C., Martín M.A., Moreno A., "Pérdidas por inserción en barreras antiruido de bajo aislamiento", *Proc. TecniAcústica 94*, pp. 47-50, Valencia (1994).
- [16] Menge C.W., "Sloped barriers for highway noise control", *Proc. of Internoise*, (1978).
- [17] Slutsky S. Bertoni H.L., "Analysis and programs for assesment of absorptive and tilted parallel barriers", *Transportation Research Record* 1176, Washington D C (1988).
- [18] Bowly W., Cohn L.F., Harris R.A., "A review of studies of insertion loss degradation for parallel barriers", (1987).
- [19] Pfretzschner J., Simón F., Moreno A., de la Colina C., "Pantallas acústicas absorbentes realizadas con granzas de goma". *Proc. TecniAcústica*, pp. 259-262, Barcelona (1996)
- [20] Moreno A., Simón F., de la Colina C., Sanz P.T., "Circuito equivalente y previsión de la absorción en resonadores H". *TecniAcústica 94*, Valencia. (1994)
- [21] May D.N., Osman M.M., "Highway noise barriers: new shapes", *Journ. of Sound and Vibration*, vol 71, pp.73-101, (1980):
- [22] Hothersall, D. C., Crombie, D. H. "Prediction and the effects of parallel road traffic noise barriers." *Proc. I. O. A.* vol. 14 673-6, (1992)
- [23] Wirt L.S., "The control of diffracted sound by means of Thnadners (shaped noise barriers), *Acoustica*, vol. 42, pp. 73-88, (1979)
- [24] Fujiwara, K., Furuta, N. "Sound shielding efficiency of a barrier with a cylinder at the edge." *Noise Control Eng. J.* vol. 37, pp. 5-11, (1991)
- [25] Pfretzschner, J., Simón, F., Burgos, M. J. "¿Se justifican las pantallas acústicas con cumbreira circular?" *Proc. TecniAcústica*, pp. 159-162, (1995)
- [26] Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für die Ausführung von Lärmschutzwänden an Strassen, *ZVT-Lsw 88* (1988).
- [27] Norma UNE NE 135601 /1996, "Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico." Partes 1, 2 y 3
- [28] F. Simón, "Caracterización acústica de pantallas antiruido mediante un índice global." Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 1997