

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO CON AGREGADO DE POMECA PUZOLÁNICA Y SU USO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE BARRERAS ACÚSTICAS

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF CEMENT WITH POZZOLANIC POMECA AGGREGATE AND ITS USE FOR THE CONSTRUCTION OF ACOUSTIC BARRIERS

César E. Boschi^a, Carlos A. Prado^a y Eduardo A. Abarca^a

^a *Laboratorio de Acústica y Sonido “Mario G. Camín”, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Rodríguez 273, 5500 Mendoza, Argentina, cboschi@frm.utn.edu.ar, <http://www.frm.utn.edu.ar/laboratoriodeacustica>*

Palabras clave: Sonido, Ruido, Contaminación Sonora, Barreras, Tránsito Vehicular.

Resumen. El presente trabajo describe la investigación realizada con el objeto de caracterizar las propiedades acústicas de tabiques ejecutados con cemento alivianado con pomeca puzolánica, factibles de usar en la construcción de barreras acústicas. En estudios previos realizados sobre la contaminación sonora en la ciudad de Mendoza por el Laboratorio de Acústica de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional, se puso de manifiesto la problemática que representa el gran nivel de contaminación acústica debido al flujo vehicular, en varias áreas representativas de la ciudad. El uso de barreras acústicas es uno de los métodos por los cuales se intenta reducir la contaminación acústica asociada a las carreteras. Las barreras se interponen como obstáculo en la trayectoria de propagación del sonido. La utilización de materiales abundantes y de bajo costo en la construcción de dichas barreras acústicas agrega valor a este tipo de soluciones al ruido generado por el tránsito vehicular. Se emiten conclusiones y recomendaciones.

Keywords: Sound, Noise, Noise pollution, Barriers, Vehicular traffic.

Abstract. The present work describes the investigation carried out with the aim of characterizing the acoustic properties of partitions executed with cement lightened with pomeca pozzolanic, feasible to use in the construction of acoustic barriers. In previous studies carried out on noise pollution in the city of Mendoza by the Acoustics Laboratory of the Mendoza Regional Faculty of the National Technological University, the problem represented by the high level of noise pollution due to vehicular flow was revealed in several representative areas of the city. The use of acoustic barriers is one of the methods used to reduce noise pollution associated with roads. Barriers stand as an obstacle in the path of sound propagation. The use of abundant and low-cost materials in the construction of said acoustic barriers adds value to this type of solutions to the noise generated by vehicular traffic. Conclusions and recommendations are issued.

1 INTRODUCCIÓN

Los niveles de ruido ambiental en entornos urbanos son cada vez mayores debido principalmente al aumento del tráfico vehicular. Diversos estudios han señalado en forma inequívoca que el ruido aún si es de baja intensidad, afecta negativamente al ser humano en su actividad física e intelectual, así como en el esparcimiento y el descanso (Berglund, B. et al., 1999). La Unión Europea, en el año 2002, ha emitido una directiva sobre ruido ambiental unificando criterios para las normativas existentes en los países miembros y requirió a los mismos localizar las zonas de contaminación acústica para reducir sus niveles mediante planificaciones a corto, mediano y largo plazo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un límite de ruido en exteriores de 55 dB(A) en el día y 40 dB(A) en la noche. Actualmente en Argentina el ruido ambiental constituye un problema grave y creciente que afecta diariamente a las personas que residen y desarrollan sus actividades laborales en entornos urbanizados. Esta situación también se repite en la provincia de Mendoza principalmente en su ciudad capital, siendo un problema crítico con tendencia a agudizarse.

En estudios previos realizados sobre la contaminación sonora en la ciudad de Mendoza por el Laboratorio de Acústica de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional, (Boschi y Muñoz Vargas, 2005; Gutiérrez y Muñoz Vargas, 2007; Boschi y Puliafito, 2018), se puso de manifiesto la problemática que representa el gran nivel de contaminación acústica debido al flujo vehicular, en varias áreas representativas de la ciudad.

En espacios al aire libre se considera que cada vez que se duplica la distancia entre una fuente sonora omnidireccional y un oyente o receptor, disminuye el nivel sonoro en 6 dB y viceversa, cada vez que se reduce a la mitad esa distancia aumenta el nivel sonoro en 6 dB. Existen otros factores que afectan la propagación del sonido en el aire tales como tipo de suelo, humedad relativa del aire, vientos, vegetación y topografía (Recuero López, 1995).

Teniendo en cuenta estas consideraciones, la atenuación entre fuente y receptor sobre un terreno cualquiera, puede calcularse como (Harris, 1998):

$$A_{tot} = A_{dist} + A_{refr} + A_{atm} + A_{suelo} + A_{barrera} \quad (1)$$

Donde:

- A_{tot} : Atenuación total debida a todos los aportes.
- A_{dist} : Atenuación debida a la ley de las distancias.
- A_{refr} : Atenuación debida a la refracción en la atmósfera.
- A_{atm} : Atenuación debida a la absorción molecular de la atmósfera.
- A_{suelo} : Atenuación debida al tipo del suelo.
- $A_{barrera}$: Atenuación debida a la inserción de una barrera

Una de las soluciones a las que se recurre para mitigar los ruidos producidos por el tránsito vehicular sobre las personas que habitan en las cercanías de carreteras y autopistas es instalar pantallas o barreras acústicas. Una barrera puede ser delgada o gruesa. Se considera delgada aquella barrera cuyo espesor no supera cinco veces la longitud de onda de la componente de mayor frecuencia de la señal que se desea atenuar y por lo tanto ofrece un solo borde al frente de onda. La barrera gruesa en cambio tiene un espesor tal, que presenta dos bordes claramente separados a cada frente de onda. En cada borde se produce difracción, así que la barrera gruesa tiene doble difracción. Cuando se trata de estudios de ruido en ambiente normales, sin frecuencias particularmente destacadas, se considera como frecuencia más alta a los fines del cálculo a 4000 Hz. Así que en este caso los muros de espesor normal en la construcción (hasta 0,40 m) se consideran delgados.

La inserción de la barrera en un campo sonoro produce dos efectos:

- 1) Reduce el ruido, porque durante la trayectoria de la onda sonora recorre un camino más

largo $d_1 + d_2$, en lugar de d (Ver Figura 1).

2) Difracción en el borde de la barrera. Si bien la difracción permite que la onda se propague hacia el lado receptor de la barrera (d_2), sufre a consecuencia de este fenómeno una atenuación.

La atenuación que introduce la barrera se puede calcular por medio de la siguiente fórmula:

$$A_{barrera} = 10 \log [3 + 10NK] \quad (2)$$

Donde:

K : Factor de corrección para fenómenos atmosféricos; si $d \leq 100$ m entonces $K = 1$

N : Número de Fresnel

Y el número de Fresnel se calcula del siguiente modo:

$$N = \frac{2}{\lambda} \cdot [d_1 + d_2 - d] = \frac{2 \cdot f}{c} [d_1 + d_2 - d] \quad (3)$$

Donde:

c : Velocidad de propagación del sonido en condiciones atmosféricas normales

f : Frecuencia en Hz de la banda de ruido a estudiar

λ : Longitud de onda correspondiente a la frecuencia, f , en metros

Mientras mayor sea la altura de la barrera o mientras más cerca estén de ella la fuente y receptor, será mayor este número.

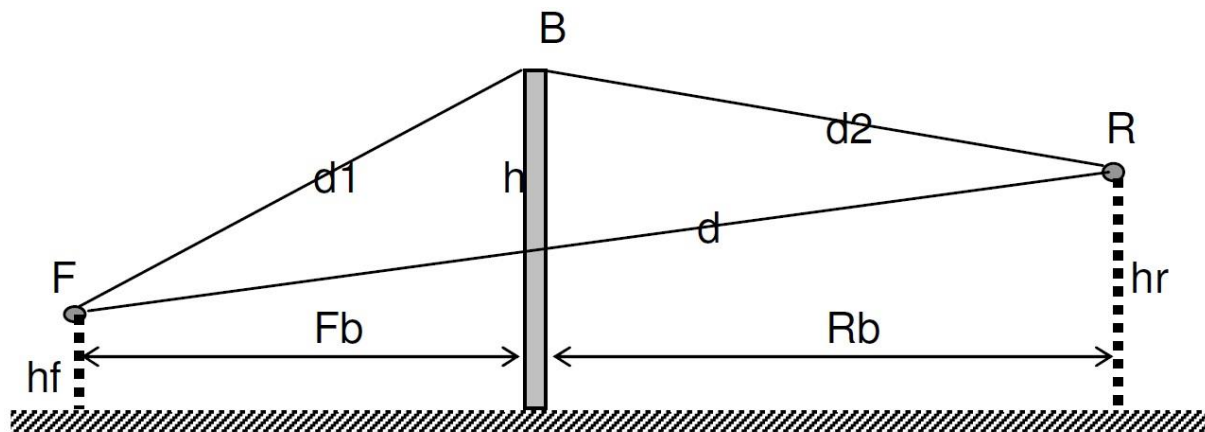


Figura 1: Dimensiones a considerar cuando se incluye una barrera acústica.

Donde:

F: Fuente

R: Receptor

B: Barrera

d_1 : Distancia fuente – borde difracción barrera

d_2 : Distancia receptor – borde difracción barrera

d : Distancia en línea recta fuente – receptor

F_b : Distancia fuente – barrera

R_b : Distancia receptor – barrera

h_f : Altura de la fuente sobre la perpendicular al pie de la barrera

h_r : Altura del receptor sobre la perpendicular al pie de la barrera

h : Altura de la barrera

Teniendo en cuenta estas consideraciones, la máxima atenuación que se puede conseguir mediante la inserción de barreras acústicas utilizando parámetros factibles es de 24 dB. También debe considerarse que el aislamiento acústico del material utilizado para construir la pantalla debe ser de 10 dB o más que la mencionada atenuación adicional que se pretende lograr a causa de la colocación de la barrera. Esto es para evitar que el sonido pase en gran medida a través de ésta. Esta característica de aislamiento acústico se determina experimentalmente por ensayos de laboratorio. También debe tenerse en cuenta que, si la barrera no es suficientemente extensa, en cuanto a longitud, el campo sonoro resultante se incrementará por las contribuciones laterales. El peor caso se da cuando la barrera tiene forma cuadrada, ya que el sonido de ambos laterales y el que pasa por sobre la barrera llegan en fase, sumándose directamente sus amplitudes. Por este motivo se recomienda que la barrera se extienda hacia cada lado de la fuente al menos el doble de su altura.

En cuanto a los materiales constructivos, en general las barreras acústicas se pueden construir de diversos materiales tales como los tradicionales utilizados en albañilería, metálicas, con materiales transparentes o diques de tierra, piedra, roca e incluso escombros. En este estudio se exponen los resultados de investigaciones sobre la utilización de materiales abundantes en la provincia y de bajo costo factibles de ser utilizados en la construcción de dichas barreras acústicas.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción de la muestra bajo estudio

El material utilizado para este estudio fue una mezcla de cemento y pomeca puzolánica. La pomeca puzolánica, piedra pómez con algo de fino, es una roca ígnea volcánica vítrea de estructura vesicular o celular. Es una roca efusiva joven, de terciaria a reciente, que contiene feldespato potásico, cuarzo y plagioclasa; pasta de grano fino a vítreo en las que cristales de biotita forman fenocristales. Triturada se puede utilizar para la fabricación de morteros u hormigones de áridos ligeros. Se produce por el enfriamiento rápido de materiales en fusión eyectados por los volcanes, debido a lo cual quedan ocluidos en la masa, el vapor y los gases que aquellos contenían, dando origen a la formación de un producto tan poroso y liviano que flota en el agua, recibiendo el nombre de piedra pómez aquellos granos con un diámetro mayor a 4 mm y pumicita con un diámetro inferior a 4 mm, hasta polvo casi impalpable, teniendo una composición química casi idéntica. Presenta a simple vista innumerables poros y diferentes relieves, siendo muy áspera en su superficie. Su color es generalmente blancuzco o grisáceo, con una dureza que va de 5,5 a 6 Mohs. Tiene una gran porosidad, la que llega a 2/3 de su volumen aproximadamente.

La proporción de la mezcla fue de una parte de cemento por cada nueve partes de pomeca puzolánica con un agregado de 100 litros de agua cada 50 Kg de cemento. Las dimensiones del tabique ensayado fueron de 3,30 m de largo por 3,30 m de alto con un espesor de 0,16 m, colado in situ y confinado por medio de un sistema de doble placa metálica para encofrado de ensamble liviano (Ver Figura 2), construido entre los recintos emisor y receptor del Laboratorio de Acústica y Sonido de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional. El amasado de la mezcla se efectuó mediante el uso de una mezcladora portátil tradicional con capacidad de 130 litros. No se efectuó ninguna tarea complementaria para efectuar el curado.



Figura 2: Vista del proceso de construcción del material bajo estudio.

2.2 Diseño experimental

Uno de los métodos para determinar la característica de aislamiento acústico de materiales es a través de ensayos de laboratorio tales como el descrito en la Norma IRAM 4063: “Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción” (IRAM, 2002). El laboratorio en donde se realizaron las mediciones fue construido teniendo en cuenta las especificaciones de la mencionada norma. El mismo consta de dos recintos, uno emisor con superficie de 4,40 m x 4,40 m y uno receptor de 4,40 m x 4,00 m, ambos de 3,40 m de alto. Ambos están aislados uno del otro tanto desde el punto de vista estructural como acústico, lo que le permite realizar este tipo de ensayos (Ver Figura 2).

El método de medición básicamente consiste en generar un nivel sonoro adecuado a un lado del muro que se está ensayando y medir cuanto es el nivel sonoro del otro lado. El sonido en el recinto emisor fue estacionario y tuvo un espectro continuo en las frecuencias consideradas. Las bandas de frecuencias utilizadas fueron 125; 250; 500; 1000 y 2000 Hz.

El nivel de presión sonora se adoptó en aproximadamente 100 dB, verificando que, en todo el rango de frecuencias, el nivel de presión acústica en el recinto receptor sobrepasara en 10 dB el nivel de ruido de fondo.

La medición del nivel de presión sonora en ambos recintos se obtuvo del promedio en el espacio y el tiempo. Para cada medición se adoptaron 6 posiciones fijas en cada recinto y para cada tipo de frecuencia. Finalmente se realizó el cálculo del índice de reducción acústica a las distintas frecuencias y se graficaron los resultados.

3 RESULTADOS

Los resultados del índice de reducción acústica a las distintas frecuencias a las que se realizó el ensayo para el tabique de cemento con agregado de pomeca puzolánica se presentan en Figura 3. Se obtuvo un valor de índice de reducción acústica medio de 34,8 dB.

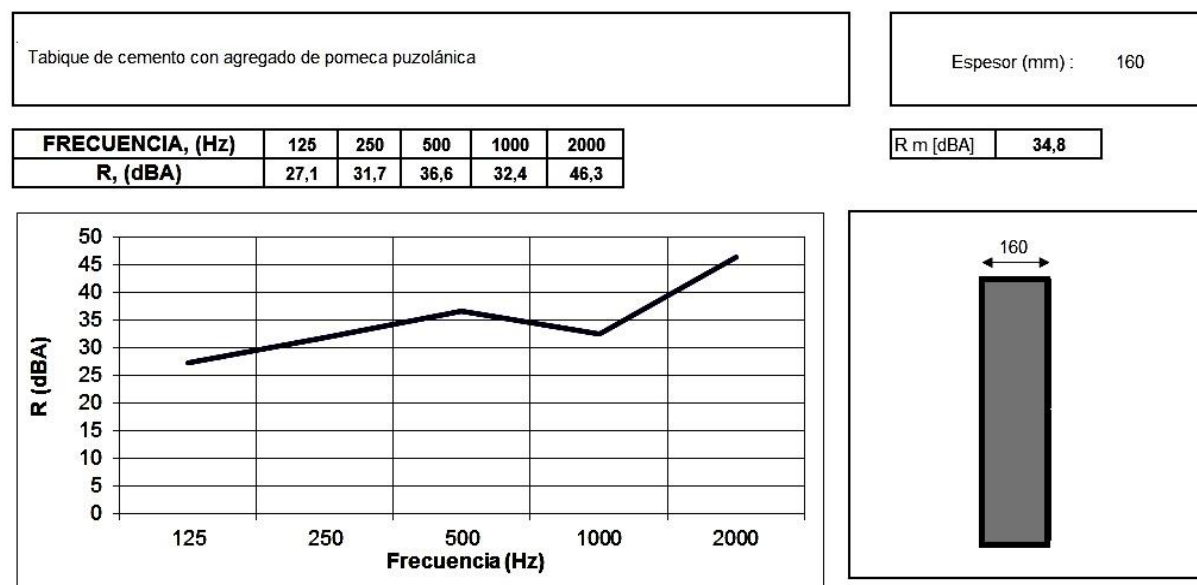


Figura 3: Resultados del índice de reducción acústica a las distintas frecuencias para el tabique de cemento con agregado de pomeca puzolánica.

4 CONCLUSIONES

Como se ha expresado bajo el punto 1, la altura de la barrera y la cercanía a la fuente son las variables que determinan la atenuación de las barreras acústicas y además el aislamiento acústico del material utilizado para construir la pantalla debe ser 10 dB o más que la atenuación adicional que se pretende a causa de la colocación de la barrera. Por lo tanto, el mínimo índice de reducción acústica que debe poseer un material para ser apto para su empleo en la construcción de barreras acústicas debe ser de 34 dB. De acuerdo con el análisis realizado se pueden establecer las siguientes conclusiones:

El valor obtenido del índice de reducción acústica medio para el material bajo estudio, esto es, un tabique de cemento con agregado de pomeca puzolánica con un espesor de 0,16 m es de 34,8 dB, lo cual hace apto este tipo de tabique para construir barreras acústicas.

Adicionalmente el material bajo estudio presenta las siguientes ventajas comparativas:

El peso específico de la pomeca puzolánica es de entre 490 y 550 Kg/m³, mucho más liviano comparado con los 1540 y 1650 Kg/m³ que pesan la arena y ripio ordinarios, y los 1000 y 2000 Kg/m³ que pesan los ladrillos arcillosos. Esto hace más fácil el manejo de bloques u otros elementos fabricados sobre la base de piedra pómez. Por otro lado, este peso menor lleva como resultado una minimización de los requerimientos de fundaciones. Finalmente, también se puede agregar que es un material que posee una buena resistencia al fuego, condensación, moho y pestes, además de tener un excelente comportamiento térmico.

REFERENCIAS

- Berglund, B. et al., Guías para el ruido urbano, *Documento de la Organización Mundial de la Salud*, Londres, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente, OPS/CEPIS, 1999.
- Boschi, C.E. y Muñoz Vargas, G.E., *Medición de la Contaminación Sonora en la Ciudad de Mendoza*. Vol. 1, pp. 235-242. Desarrollo e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingeniería. Mendoza, 2005.
- Boschi, C.E. y Puliafito, S.E., *Contaminación acústica en la Ciudad de Mendoza, análisis de*

- caso y recomendaciones*, V Congreso Internacional de Educadores en Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería: ECEFI, Mendoza, 2018.
- Gutiérrez L. y Muñoz Vargas, G.E., *Mediciones de nivel sonoro de la ciudad de Mendoza (Mapas de Ruidos)*, Municipalidad de la Ciudad de Mendoza, Mendoza, 2007.
- Harris, C., *Manual de medidas acústicas y control del ruido*. McGraw Hill, Madrid, 1998.
- Norma IRAM 4063: *Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción*, 2002.
- Recuero López, M., *Ingeniería Acústica*, Paraninfo, Madrid, 1995.