



DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BARRERA MULTIFUNCIONAL PARA ENTORNOS URBANOS

José Ignacio Riesco García^{1*}, Ángel Arenaz Gombau¹, Ana Esther Espinel Valdivieso¹, Diego González Jiménez¹, Francisco Verdugo González², José Feroso Domínguez²

¹Audiotec, Valladolid, España,

²Cartif, Valladolid, España

RESUMEN

El proyecto “Noise and Emissions MOnitoring and radical mitigation” (NEMO), financiado por el programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea, tiene por objeto desarrollar nuevas tecnologías para medir y mitigar los impactos ambientales debidos al tráfico rodado, marítimo y ferroviario. En el marco de este proyecto, Audiotec y Cartif han desarrollado una barrera multifuncional que, por un lado, reduce la contaminación atmosférica mediante un sistema de captación activa y el empleo de un biofiltro con capacidad para eliminar del ambiente urbano PM, NO y NO₂ y, por otro, actúa como pantalla acústica multifuncional recubierta con un material fotocatalítico.

Tras un proceso de investigación se ha desarrollado una solución que desde el punto de vista acústico actúa apantallando el ruido procedente del emisor y acondicionando el espacio tras la pantalla para hacerlo más confortable. Finalmente se ha fabricado un prototipo de pantalla multifuncional, el cual ha sido instalado en un ambiente real para su monitorización.

En este trabajo se presentan los resultados del desarrollo de la solución, así como sus aplicaciones en entornos urbanos.

ABSTRACT

The “Noise and Emissions MOnitoring and radical mitigation” (NEMO) project, funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme, aims to develop new technologies to measure and mitigate the environmental impacts due to road, maritime and railway. Within the framework of this project, Audiotec and Cartif have developed a multifunctional barrier that, on the one hand, reduces atmospheric pollution through an active capture system and the use of a biofilter with the capacity to eliminate PM, NO and NO₂ from the urban environment and

on the other hand, acts as a multifunctional acoustic barrier covered with a photocatalytic material.

After a research process, a solution has been developed that from an acoustic point of view acts by shielding the noise coming from the emitter and conditioning the space behind the barrier to make it more comfortable. Finally, a prototype of a multifunctional barrier has been manufactured, which has been installed in a real environment for monitoring.

This work presents the results of the development of the solution, as well as its applications in urban environments.

Palabras Clave— Pantalla acústica, multifuncional, prototipo, urbano.

1. INTRODUCCIÓN

Audiotec y Cartif forman parte del consorcio que está llevando a cabo el proyecto “Noise and Emissions MOnitoring and radical mitigation” (NEMO), financiado por el programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea, cuyo objetivo general es el desarrollo de nuevas tecnologías para medir y mitigar los impactos ambientales debidos al tráfico rodado, marítimo y ferroviario.

En el alcance de este proyecto se contempla la contaminación acústica, que es un problema importante de salud ambiental en Europa, y cuyos efectos adversos afectan a la calidad de vida, al deterioro de la salud y a la disminución de la capacidad de concentración de las personas.

Por otro lado, la contaminación del aire también perjudica la salud humana y el medio ambiente. Las exposiciones a largo plazo a estos contaminantes producen daños en el sistema respiratorio que pueden provocar la muerte prematura. Alrededor del 90 % de los habitantes de las ciudades en Europa están expuestos a contaminantes en concentraciones superiores a los niveles de calidad del aire considerados perjudiciales para la salud.

La participación de Audiotec y Cartif en este proyecto se ha centrado en el diseño de una barrera multifuncional para

* **Autor de contacto:** ignacio.riesco@audiotec.es

Copyright: ©2023 First author et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

mitigar el ruido y mejorar la calidad del aire en el entorno y en la realización de un demostrativo para comprobar su efectividad.

En las ciudades se suelen instalar pantallas acústicas para proteger los edificios del ruido generado por las grandes infraestructuras viarias que las atraviesan. Por lo general, las pantallas tienen alturas superiores a 2,5 metros y su aplicación se limita a aquellas zonas donde las restricciones que produce la pantalla (impacto visual, circulación de peatones, accesos, cruces con otras vías, etc.) son compatibles. Debido a estas limitaciones, en el entorno de la red viaria colectora y de acceso de las ciudades el empleo de pantallas acústicas convencionales no es una solución viable. Además, con motivo de la proliferación de terrazas de ocio y, en general, de la ocupación de la vía pública por parte de las personas, se hace necesario proteger los entornos urbanos del ruido ambiental con soluciones de menor impacto visual, más adaptables y que estén en armonía con la ciudad.

2. OBJETIVOS

La barrera multifuncional desarrollada integra una pantalla acústica, un revestimiento fotocatalítico para capturar NOX y un biofiltro de jardín como solución activa para filtrar los principales contaminantes del aire.

Como valores de referencia para orientar el objetivo de rendimiento del sistema se ha considerado:

- Reducción de ruido urbano: >3 dB
- Reducción fotocatalítica de NOX: ~20%
- Captación de caudal de aire: >100m³/min·m²
- Captura de NOX: > 90%
- Captura de MP: >75%

Las principales condiciones consideradas en el diseño de la solución son las siguientes:

- La barrera debe cumplir con los objetivos de rendimiento citados anteriormente;
- La solución debe incluir una solución activa contra la contaminación del aire mediante la absorción del aire;
- Se limitará la altura máxima de la barrera, no siendo admisibles alturas superiores a 2 metros, que no son aptas para entornos urbanos, y
- La barrera se diseñará bajo criterios de integración paisajística con su entorno,

3. CONSIDERACIONES GENERALES DE LA BARRERA MULTIFUNCIONAL

A partir de los objetivos que se han prescrito se han llevado a cabo tres actividades paralelas de investigación y desarrollo y una actividad final de integración para diseñar y crear un primer prototipo de barrera multifuncional.

Los trabajos de reducción de ruido se han centrado en el diseño geométrico de la pantalla acústica, la selección de los materiales y el diseño de perforaciones superficiales para la mejora de la absorción del sonido. Se han estudiado

diferentes configuraciones enfocadas principalmente a la integración de la barrera multifuncional en entornos urbanos y teniendo en cuenta la compatibilización de su uso con terrazas de ocio. Se han estudiado diferentes materiales como la madera y materiales derivados en combinación con lana mineral como material absorbente.

El recubrimiento fotocatalítico ha sido diseñado especialmente para materiales de madera. La formulación incluye el fotocatalizador, aglutinantes orgánicos e inorgánicos y algunos otros aditivos, pero evitando otras cargas para crear una solución transparente. De esta forma no se modifican las propiedades estéticas de los materiales de madera. El rendimiento fotocatalítico del recubrimiento fotocatalítico es de alrededor del 20 % (según ISO 22197-1) y se aplicará en todas las superficies de la barrera.

El sistema de biofiltro consta de dos componentes principales: i) un extractor para absorber el aire contaminado y una zona plenum donde se libera el aire contaminado; y ii) un biofiltro multicapa con una capa fibrosa para capturar principalmente PM, una base adsorbente sobre carbón activo como amortiguador de la concentración de NO, una capa de sustrato natural para capturar el NO₂ y finalmente vegetación para metabolizar y estructurar el suelo.

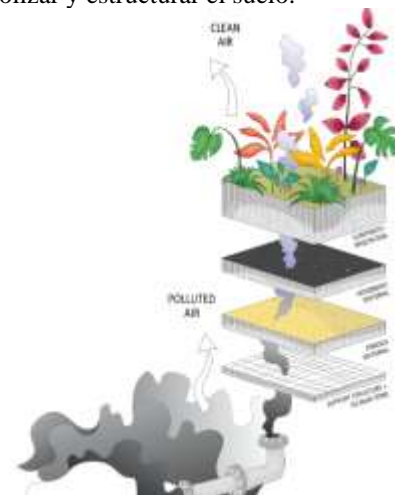


Figura 1. Esquema del sistema de biofiltro.

De esta forma, se puede decir que el biofiltro es una solución activa y completa para eliminar la contaminación del aire. Se estudiaron diferentes materiales para cada capa con el fin de conseguir el rendimiento objetivo pero teniendo en cuenta la caída de presión como parámetro clave.

El sistema ha sido diseñado para crear una solución activa para la reducción de la contaminación del aire. El extractor se selecciona considerando la caída de presión a través de los sistemas y la superficie disponible.

Durante la actividad de integración final, los estudios se centraron en la combinación de los tres sistemas en la barrera multifuncional y se construyó un primer prototipo.

Por otro lado, en los trabajos de diseño se consideraron varios escenarios para diferentes ubicaciones en la ciudad. La

alternativa seleccionada para demostración piloto fue la integración de la solución en entornos de terrazas de ocio.

4. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN ACÚSTICA

En una primera fase se han valorado diferentes alternativas de protección de la pantalla acústica en función de distintas posibilidades de ubicación y de los emisores acústicos presentes. Finalmente, una vez tomada la decisión de las características del medio en donde se implanta la barrera, se han considerado dos modos de protección:

- Protección del ruido ambiental generado por los automóviles en el espacio destinado a las personas (desarrollo de soluciones para la mitigación del ruido ambiental proveniente de la carretera tras la pantalla acústica), y
- Protección del ruido ambiental generado por las personas que se encuentran en el recinto a proteger (desarrollo de soluciones para el acondicionamiento acústico del espacio público ocupado por las personas con el objetivo de mejorar el confort acústico).

Paralelamente se han analizado los condicionantes del diseño de la barrera para que permita alojar el biofiltro desarrollado por Cartif y que cumpla con la normativa de seguridad y otras normas aplicables.

Durante el proceso de diseño de la geometría de la pantalla se han valorado distintas opciones.

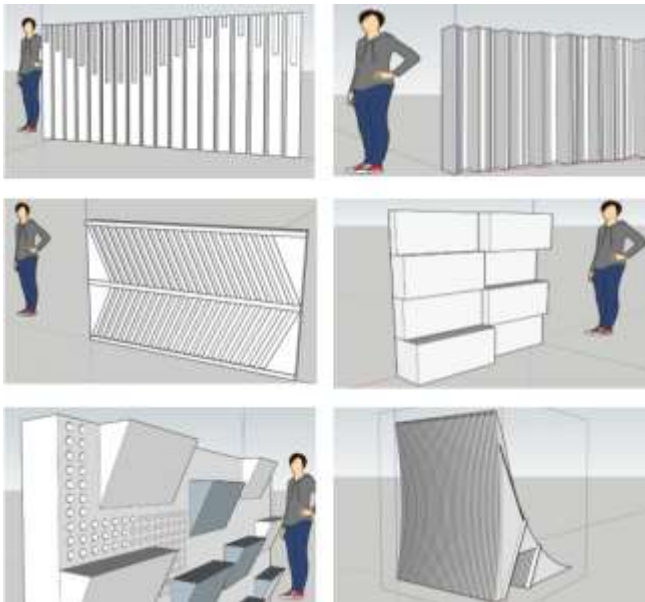


Figura 2. Alternativas de diseño de la pantalla acústica.

Finalmente se ha optado por una geometría donde la cara de la pantalla próxima a la carretera conste de paneles y listones de sección rectangular y la cara interior esté compuesta de paneles perforados.

4.1. Ensayos de laboratorio y resultados

En una primera fase se ha realizado un estudio para decidir el material base y el tipo de sistema a utilizar en la barrera (soluciones en la superficie de la barrera frente a la acera para el acondicionamiento acústico). Inicialmente se ha optado por dos alternativas:

- Sistema basado en la combinación de lana mineral y paneles metálicos perforados, y
- Sistema basado en la combinación de lana mineral y paneles de madera perforados.

Se realiza una primera tanda de ensayos según la norma UNE EN ISO 354:2004, Acústica. Medición de la absorción acústica en cámara reverberante con la alternativa basada en el sistema de paneles metálicos perforados con lana mineral. Se analizan dos variables: el efecto de una cámara de aire de diferentes espesores entre la lana mineral y el panel, y el efecto de la geometría de las perforaciones.

Algunos de los resultados obtenidos se muestran a continuación:



Figura 3. Muestra para ensayo de absorción acústica.

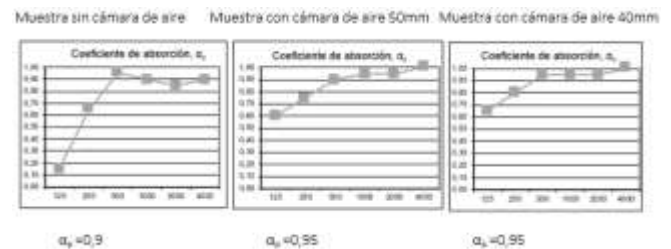


Figura 4. Tests para analizar el efecto de la cámara de aire.

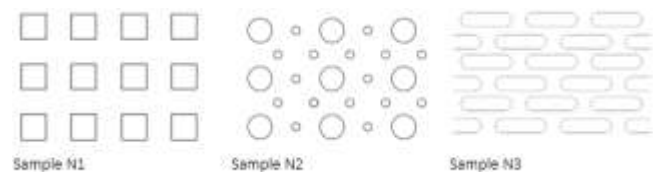


Figura 5. Configuraciones de paneles perforados estudiados.

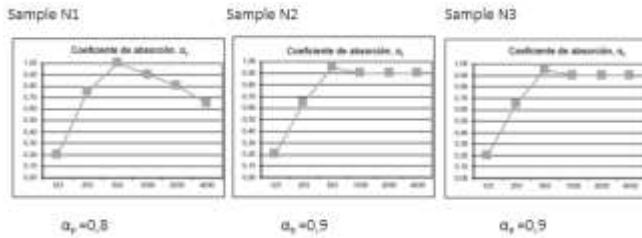


Figura 6. Tests para analizar el efecto de la geometría de las perforaciones.

Posteriormente se han replicado los ensayos anteriores sustituyendo los paneles metálicos por paneles de madera perforados.

El panel seleccionado está fabricado en madera MDF hidrófuga de 6 mm de espesor.

Los resultados obtenidos para configuraciones equivalentes han sido muy similares. Finalmente, se ha optado por utilizar madera como material base de la barrera frente a soluciones alternativas basadas en materiales metálicos debido a su mejor comportamiento medioambiental y su mayor integración en entornos urbanos.

Además de los estudios anteriores, se ha evaluado la absorción acústica de diferentes configuraciones de lana mineral y fibra de madera.

Los resultados obtenidos para espesores y densidades similares son ligeramente mejores para la lana mineral que para la lana de fibra de madera.

En la siguiente etapa se han definido varios diseños geométricos de perforaciones.

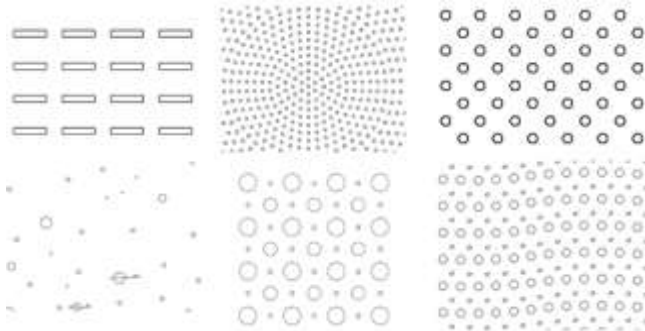


Figura 7. Diseños de geometría de perforación estudiados

Se han realizado diversos estudios analíticos para tomar una decisión sobre el tipo de perforación a considerar. Se ha optado por dos tipos de diseño: paneles de madera MDF con perforaciones de 8 mm de diámetro y diferentes porcentajes de agujeros y paneles de madera MDF con perforaciones aleatorias con diámetros entre 4 y 22 mm.

El mecanizado de los paneles se ha realizado con medios propios con ayuda de una máquina CNC, de modo que se han mecanizado diversas alternativas de panel perforado que posteriormente se han ensayado en combinación con lana mineral. Los resultados de los ensayos realizados han

demostrado que para ambos diseños, cuando los porcentajes de huecos son inferiores al 20%, la absorción del sistema no es la adecuada, mientras que a partir del 25% de huecos los valores de absorción alcanzados son $\alpha_w > 0,9$, valor suficiente para conseguir un buen confort acústico.

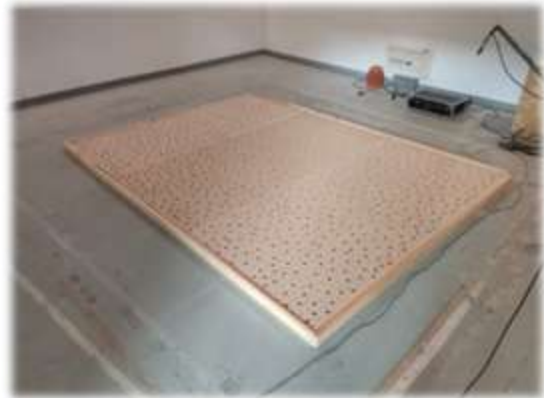


Figura 8. Muestra de laboratorio de panel perforado

En una siguiente etapa se ha realizado un estudio para decidir el tipo de sistema a utilizar en la barrera (soluciones para la mitigación del ruido en la superficie de la barrera frente a la vía).

Se ha optado por un sistema que combina lana mineral con lamas de madera. Al igual que en el caso de la solución estudiada para la superficie orientada a peatones, en primer lugar se tuvo en cuenta la absorción acústica de diferentes alternativas de diseño basadas en dos tamaños de lamas (sección 30x20 mm y sección 70x20 mm) donde la separación entre las lamas variaba.



Figura 9. Muestra de lana mineral con listones de madera

Los valores obtenidos en los ensayos de absorción realizados oscilan entre $0,9 > \alpha_w > 0,85$ para espaciados normales entre lamas.

En la siguiente fase se han realizado ensayos de aislamiento de ruido aéreo para diferentes configuraciones de los sistemas de paneles perforados-lanas minerales-lamas.

Las salas donde se han realizado los ensayos cumplen con la normativa y requisitos establecidos en la Norma UNE EN ISO 10140-5:2011.

En resumen, finalmente se ha optado por una barrera de altura variable, que permite la visibilidad y tiene poco impacto paisajístico.

El material principal de la barrera es la madera. La cara de la pantalla próxima a la carretera consta de paneles y listones de madera, sobre los que se aplica una pintura fotocatalítica, mientras que la cara interior se compone de paneles de madera perforados. En el interior se emplea lana mineral y el diseño incluye espacios para alojar el biofiltro.



Figura 10. Esquema de operación del módulo de barrera.

5. FABRICACIÓN E MONTAJE DEL PROTOTIPO

Una vez definido el diseño de la solución, el siguiente paso ha sido decidir el lugar de implantación del prototipo.

La barrera multifuncional se ha ubicado en la calle Padre José Acosta, Valladolid. Esta ubicación fue elegida por su alta actividad vehicular y altas emisiones.



Figura 11. Localización del lugar de implantación del prototipo.

El proceso de montaje de los distintos módulos de barrera se realizó de forma satisfactoria en marzo de 2023.



Figura 12. Barrera multifuncional instalada.

5. MONITORIZACIÓN Y RESULTADOS

Tras la instalación del prototipo de barrera multifuncional se realizaron mediciones de ruido ambiental para caracterizar el ruido de la zona y evaluar la eficacia de la solución propuesta.

En la zona donde se levantó la barrera, el principal emisor acústico es el tráfico rodado. Además, existe presencia peatonal en la zona, aunque su impacto acústico es insignificante respecto al ruido del tráfico. No existen actividades industriales o comerciales en las proximidades que puedan influir en el ruido ambiental, ni existen otros emisores acústicos significativos.

Inicialmente, tras la instalación de la barrera, se ha llevado a cabo una primera ronda de mediciones de ruido ambiental. En el momento de la campaña, la carretera cercana estaba cerrada al tráfico debido a obras. Por lo tanto, se ideó un ensayo generando ruido con un altavoz colocado en la carretera en diferentes lugares. Las mediciones se realizaron a distintas distancias de la fuente y a diferentes alturas, tanto delante como detrás de la barrera, así como en zonas sin protección.

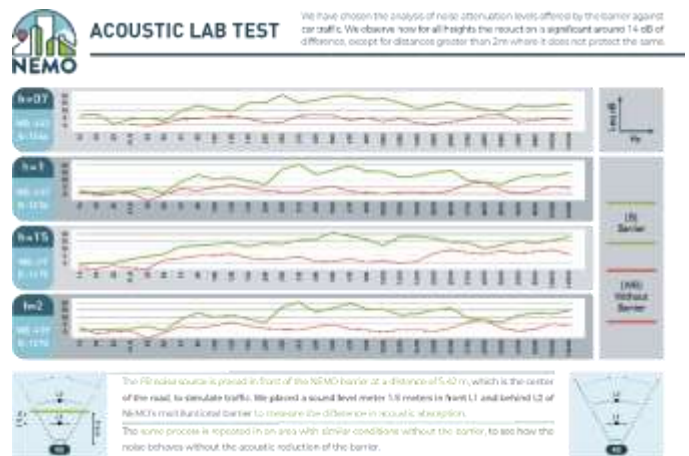


Figura 13. Resumen de resultados

Las mediciones in situ realizadas han dado como resultado reducciones en los niveles de ruido ambiental de 6dB(A), por encima del valor objetivo de 3 dB(A).

Recientemente se ha abierto al tráfico de la carretera próxima a la barrera y está previsto la monitorización del ruido ambiental en condiciones de funcionamiento, con tráfico rodado, si bien actualmente no se ha comenzado con esta monitorización.

6. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se han obtenido con el desarrollo del proyecto han sido las siguientes:

- Se ha desarrollado una novedosa barrera multifuncional para entornos urbanos con especificaciones acústicas adecuadas y que permite un recubrimiento fotocatalítico y albergar un sistema de biofiltro capaz de capturar eficientemente los principales contaminantes del aire.
- La solución acústica combina paneles de madera perforada, lana mineral y lamas de madera para conseguir una solución que proporciona una reducción del ruido ambiental de al menos 3 dBA y un buen comportamiento en relación a la absorción acústica en la superficie opuesta a la vía,
- La barrera multifuncional se diseña bajo criterios de integración paisajística con su entorno, es comercializable y su aplicación se ha enfocado para zonas donde se concentran terrazas de ocio o se acumulan personas.

7. REFERENCIAS

[1] Hänninen, O., et al., 2014, 'Environmental Burden of Disease in Europe: Assessing Nine Risk Factors in Six Countries', *Environmental Health Perspectives* 122(5), pp. 439-446 (DOI: 10.1289/ehp.1206154).

[2] WHO, 2018, WHO environmental noise guidelines for the European region, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen accessed 7 December 2018.

[3] M Garai, 'Recent advances in noise barriers testing, qualifying and standardization'(2010).