

# Coeficiente de absorción acústica de fachadas arquitectónicas con paneles perforados frente al ruido exterior



M. Ureña, R. Hechavarría, H. Vaca, D. Núñez

Universidad Técnica de Ambato, Ecuador

Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

me.urena@uta.edu.ec

PACS: 43.55.Ev

## Resumen

Por razones estéticas, los paneles perforados son usados para cubrir las fachadas de los edificios. Sin embargo, estos paneles también pueden ser usados para controlar el nivel del sonido en las edificaciones. Por lo general, los paneles acústicos absorbentes consisten en placas perforadas que actúan como soporte de otros materiales absorbentes. El coeficiente de perforación y el espesor de la cámara de aire son los principales responsables de las propiedades acústicas de este tipo de absorbentes. El coeficiente de perforación debe ser superior al 20% para no alterar las propiedades acústicas de los absorbentes usados. Por otro lado, el espesor del panel perforado debe ser lo más pequeño posible para lograr una mayor absorción a altas frecuencias. El presente trabajo estudia los cambios en el espectro de absorción acústica en función de las características acústicas y combinaciones de los materiales absorbentes.

## Abstract

For aesthetic reasons, perforated panels are used to cover buildings facades. However these panels can also be used to control the sound level in buildings. Usually, acoustic absorbent panels consist of perforated supporting plates that act as support of another absorbent materials. The perforation coefficient and the thickness of the air chamber of the panels are responsible of the acoustic properties of these kind of absorbents. The perforation coefficient must be higher than 20 % to avoid alteration in the acoustic properties of the used absorbents. On the other hand, the thickness of the perforated panel must be as small as possible to achieve higher absorption at high frequencies. This research studies the changes in the spectrum of sound absorption based on acoustic features and combinations of absorbent materials.

## 1. Introducción

Las fuentes de contaminación acústica en los núcleos urbanos son diversas. Las principales fuentes de este tipo de contaminación provienen de los vehículos de motor, aviones y sistemas ferroviarios. Éstas afectan directamente al confort acústico dentro de las edificaciones [1], siendo considerada como la principal y más habitual fuente de ruido el tráfico rodado [2], el cual constituye cerca del 55% del ruido urbano total. El desarrollo vial, la industrialización y la urbanización conducen al incremento de la contaminación acústica, lo que plantea la necesidad de estudios respecto a la búsqueda de soluciones para enfrentar este problema [3].

El ruido del tráfico vehicular tiene mayores niveles de presión sonora en bajas frecuencias, cerca de los 63 – 125Hz, mientras que el nivel de presión sonora máximo

en el rango de las frecuencias medias se produce en alrededor de los 1000 Hz [4, 5]. Además, el ruido generado por trenes posee picos de presión sonora a bajas y altas frecuencias de 63 Hz y 2000Hz respectivamente. Esta última se produce debido al *squeal* propio de las unidades ferroviarias [6]. Finalmente el ruido generado por aviones alcanza su mayor nivel sonoro a bajas frecuencias; los valores típicos reportados están entre los 125Hz y 250Hz [1].

En el área de la construcción, el aislamiento y absorción acústica es muy importante ya que la transmisión del sonido se da en el aire a través de los elementos que conforman la fachada de las edificaciones, los cuales permiten la vinculación de los espacios interiores con el exterior [2]. Está demostrado que la correcta configuración y diseño de la envolvente del edificio en conjunto

con la luz, el calor y el sonido se traducen en un diseño óptimo de la edificación, influyendo positivamente en el confort visual, térmico y acústico del edificio [7]. Los sistemas que combinan soluciones tradicionales con materiales novedosos se imponen cada vez más debido a la necesidad de lograr el confort acústico óptimo para hacer la edificación más habitable [8].

Se han adoptado varias alternativas para reducir el impacto del ruido exterior dentro de las edificaciones, tales como las barreras anti ruido, y el revestimiento de fachadas [9]. La primera alternativa se limita a absorber el ruido de una fuente localizada llegando a una reducción de hasta 10dB(A) entre la fuente de ruido y la edificación [10]. La segunda, se basa en la instalación de paneles perforados de plástico, metal, cartón o madera contrachapada [11,12] sobre las fachadas edificatorias. Estos paneles usualmente son utilizados en la acústica arquitectónica para controlar el ruido ambiental [9].

El primero en desarrollar una teoría aproximada respecto al comportamiento acústico de los paneles microperforados (PMP) fue Maa en 1975. Posteriormente en 1997, el mismo investigador planteó la teoría exacta [11]. Esta teoría se basa en el mecanismo de resonancia de Helmholtz debido a que las perforaciones del panel y la cavidad posterior del aire ubicada en frente de las paredes rígidas [9,13,14], proporcionan la resistencia acústica correcta y una baja reactancia. Esto mejora las propiedades de absorción acústica en el ancho de banda apropiado [15]. Para conseguir que los elementos utilizados habitualmente en la construcción funcionen de forma acústicamente adecuada, se necesita rellenar las cámaras que existen en estos elementos con un material poroso que sirva como amortiguador acústico generando un efecto de muelle con el sonido [8].

A partir de las investigaciones de Maa, se ha venido estudiando la influencia de los paneles multicapas (panel, material poroso, aire) en la absorción del sonido utilizando varias configuraciones con diferentes materiales [16-18]. En ese sentido, se demostró que las perforaciones submilimétricas (microperforaciones) de estos paneles pueden dar suficiente resistencia acústica para lograr un alto coeficiente de absorción incluso sin la utilización de materiales porosos [17]. Hoy en día los PMP pueden proporcionar una absorción acústica de un ancho de banda aceptable con y sin el uso de materiales porosos. Estos paneles son reconocidos como materiales de absorción de próxima generación [13,18,19], demostrándose que los absorbentes microperforados pueden ser eficaces sobre rangos de frecuencias relativamente amplios y por lo tanto ofrecen una alternativa atractiva a los materiales convencionales absorbentes del sonido, especialmente cuando es deseable el uso de absorbentes no fibrosos [17,20].

Aunque se ha reportado que el panel PMP tiene un ancho de banda de absorción aceptable, todavía no cumple con algunos requisitos de ingeniería, especialmente en el rango de bajas frecuencias [21]. Por lo que el ancho de banda de un PMP de una sola capa aún es insuficiente para competir con los materiales porosos [20]. Como se sabe, en los PMP su mecanismo de absorción de sonido lo causan las perforaciones del panel y la cavidad de aire lo que limita a la gama de frecuencias de resonancia [18]. Se ha demostrado teórica y experimentalmente una mejora en el rendimiento de absorción acústica llenando parcialmente la cavidad posterior de aire con materiales porosos [19]; aunque contradictoriamente, un panel microperforado es originalmente propuesto como una alternativa para reemplazar los materiales porosos, el uso combinado de paneles microperforados o perforados y materiales porosos pueden ser considerados necesarios debido a que muchos materiales absorbentes porosos son muy durables y reciclables. Esta es la razón por la que la inserción de materiales porosos puede ser una ventaja en la absorción acústica [22].

Los resultados de las investigaciones donde se han utilizado materiales porosos o fibras como parte de los PMP muestran un aumento en el pico de absorción y en el ancho de banda del espectro de frecuencias [16, 23, 24], debido al amortiguamiento adicional que produce el uso de estos materiales [21, 25]. Adicional a esto, entre los principales factores que influyen en el comportamiento de absorción de estas estructuras acústicas se tiene: el espesor de la cavidad del aire, el diámetro de los agujeros del panel, el espesor del panel perforado y el coeficiente de perforación del panel [12, 24].

En el caso del coeficiente de perforación, se ha recomendado que no sea mayor a un 20% para no alterar las propiedades acústicas de los absorbentes usados. En la actualidad, y por razones estéticas, se prefieren paneles perforados con coeficientes de perforación inferiores al 10%, lo que conduce a una notable degradación del espectro de absorción de todo el conjunto [24].

La mejora de absorción acústica para el caso de bajas frecuencias se enfoca en estrategias como utilizar el criterio de doble resonador de Helmholtz [7], o el aumento del espesor de la cavidad de aire, aunque las limitaciones de espacio restringen en gran medida el empleo de este tipo de soluciones [12]. Se ha demostrado que cuando existe una separación entre el panel y la pared, ésta determina la gama de frecuencias en las que el absorbente tiene un buen comportamiento acústico [23]. En ese caso, se debe elegir una profundidad de cavidad apropiada para aprovechar completamente el potencial de atenuación del panel [14,23,26]. Estudios previos han

demostrado que el absorbedor funciona mejor cuando se coloca aproximadamente a una cuarta parte de la longitud de onda acústica de la pared [23].

Varias son las alternativas que se vienen usando en la construcción de edificios para controlar los niveles de ruido, sobre todo desde el punto de vista arquitectónico y funcional. Haciendo uso de la simulación se estudiaron tres alternativas, empleando paneles perforados metálicos aplicados al revestimiento de fachadas arquitectónicas, para determinar los cambios en el espectro de absorción acústica en cada caso.

## 2. Metodología

En este trabajo se simularon tres modelos a fin de evaluar el coeficiente de absorción acústica de cada uno de ellos. Los dos primeros modelos han sido planteados como posibles soluciones a emplearse para el revestimiento de fachadas y el tercer modelo es el que se emplea actualmente. Así, se realizó una simulación inicial de los tres modelos estableciendo condiciones iniciales en lo referente a: el diámetro del agujero del panel ( $\varnothing$ ), el espesor del material absorbente ( $ma$ ), el espesor de la cámara de aire ( $ca$ ), el espesor de la placa ( $ep$ ) y el porcentaje de área abierta ( $p$ ). Estos tres modelos propuestos y sus condiciones de simulación iniciales se esquematizan en la Tabla 1.

Luego de la simulación de los tres modelos bajo las condiciones iniciales mostradas en la Tabla 1, los mode-

los mencionados se optimizaron en función de la propuesta planteada en la Tabla 2. Para el análisis se escogieron diferentes espesores del material absorbente, cámara de aire, panel perforado; de la misma manera, se varió el diámetro de los agujeros del panel y su porcentaje de área abierta.

## 3. Materiales empleados

El material absorbente utilizado para la simulación fue lana de roca con una densidad de  $80 \text{ Kg/m}^3$  y resistividad al flujo de aire de  $42 \text{ KPa}\cdot\text{seg/m}^2$ , la cámara de aire fue simulada bajo condiciones normales a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$ ; la presión fue  $1\text{Pa}$ , mientras que la humedad relativa asumida fue del  $40\%$ . En todos los casos se consideró incidencia normal de la onda sonora ( $0^\circ$ ) y una resolución de frecuencias de banda de tercio de octava. Adicional a esto, en la Tabla 3 se presentan las características de los paneles perforados de aluminio empleados en esta investigación.

Debido a que los ruidos originados por el tráfico, aviones y trenes tienen frecuencias medias y bajas, las optimizaciones están realizadas en función de este requisito. De la misma manera, considerando que existen también sonidos agudos como el *squeal* propio de los trenes, cada modelo presenta una configuración de tal forma que se logre también una buena absorción a altas frecuencias. Adicionalmente a esto, se optimizó cada modelo tomando en cuenta que no se cargue

Tabla 1. Modelos propuestos y sus condiciones iniciales de simulación.

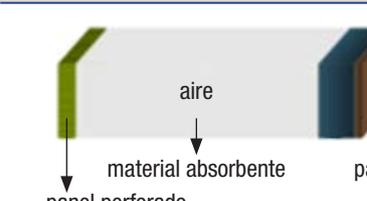
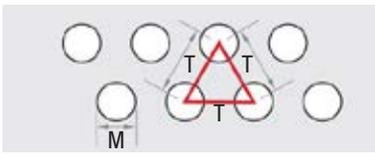
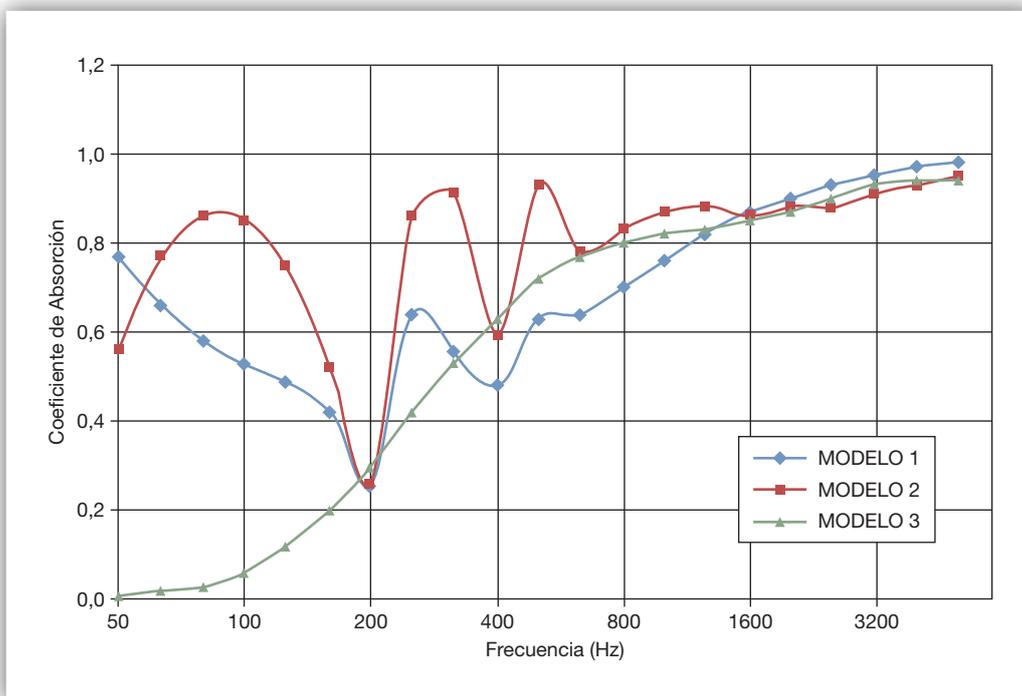
MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
		
<b>Condiciones iniciales:</b> $ma = 50 \text{ mm}$ , $ca = 800 \text{ mm}$ , $\varnothing = 3 \text{ mm}$ , $p = 51\%$ , $ep = 1 \text{ mm}$	<b>Condiciones iniciales:</b> $ma = 10 + 40 \text{ mm}$ , $ca = 800 \text{ mm}$ , $\varnothing = 3 \text{ mm}$ , $p = 51\%$ , $ep = 1 \text{ mm}$	<b>Condiciones iniciales:</b> $ma = 50 \text{ mm}$ , $ca = 800 \text{ mm}$ , $\varnothing = 3 \text{ mm}$ , $p = 51\%$ , $ep = 1 \text{ mm}$

Tabla 2. Variaciones propuestas en función de modelos iniciales de estudio: material absorbente ( $ma$ ), cámara de aire ( $ca$ ), diámetro del agujero ( $\varnothing$ ), porcentaje de área abierta ( $p$ ), espesor de la placa ( $ep$ ).

MODELO	$ma \text{ (mm)}$			$ca \text{ (mm)}$			$\varnothing \text{ (mm)}$				$ep \text{ (mm)}$			
1	5	10	50	400	600	800	3 ( $p = 51\%$ )	5 ( $p = 46,27\%$ )	10 ( $p = 46,27\%$ )	3* ( $p = 5,67\%$ )	1	1,5	10	30
2	10 + 40	10 + 20	10 + 10											
3	25	50	75											

**Tabla 3.** Características de los paneles usados: Disposición de los agujeros, diámetros de los agujeros, distancia entre centros y porcentaje de área abierta.

Disposición de los agujeros (Tresbolillo)	Diámetro de los agujeros (mm) R	Separación entre centros de los agujeros (mm) T	% de perforaciones
	3	4	51.00
	5	12	5.67
	10	7	46.27
	10	14	46.27



**Figura 1.** Diagrama del coeficiente de absorción acústica vs Frecuencia de los tres modelos bajo condiciones iniciales de simulación: modelo 1:  $ma = 10$  mm,  $c.a. = 800$  mm,  $\varnothing = 3$  mm,  $p = 51\%$ ,  $ep = 1$  mm; modelo 2:  $ma = 10 + 40$  mm,  $c.a. = 800$  mm,  $\varnothing = 3$  mm,  $p = 51\%$ ,  $ep = 1$  mm; modelo 3:  $ma = 50$  mm,  $c.a. = 800$  mm,  $\varnothing = 3$  mm,  $p = 51\%$ ,  $ep = 1$  mm.

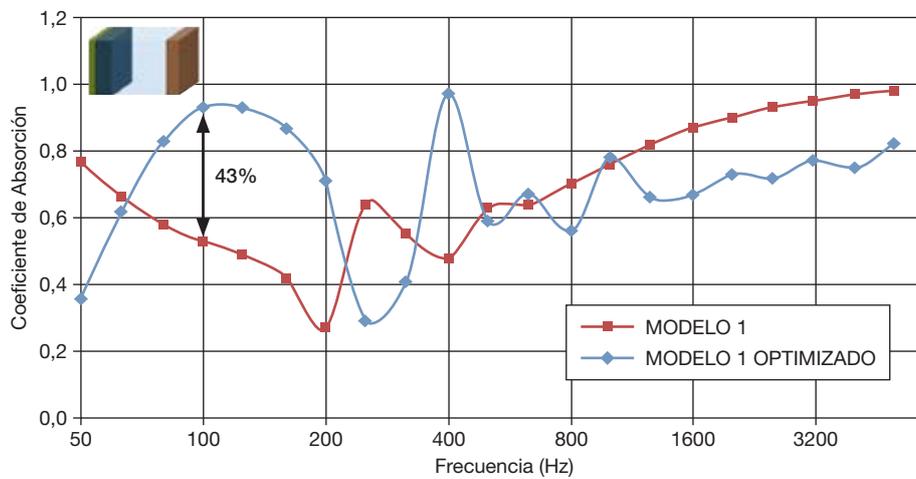
innecesariamente a la estructura y que se reduzca los costos de los materiales.

#### 4. Resultados y discusión

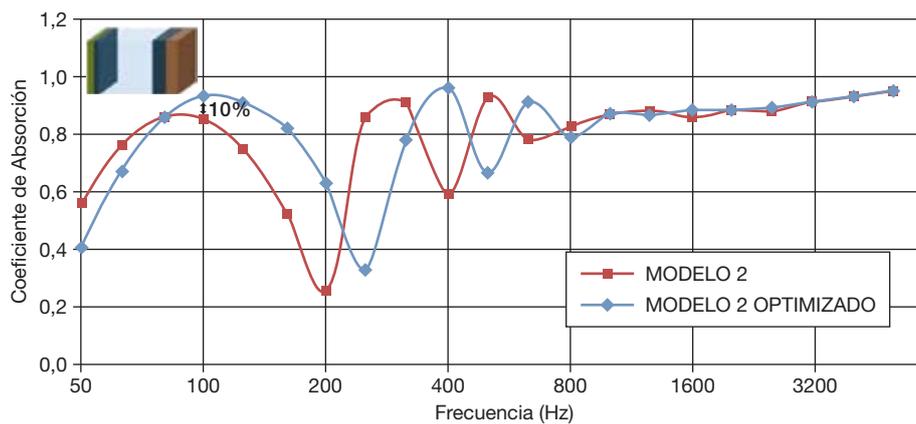
Bajo las condiciones iniciales de la simulación, se obtuvieron espectros referenciales de los tres modelos. La Figura 1 muestra, el espectro de absorción de los tres modelos, el modelo 3 se comporta básicamente como un material absorbente, es decir posee poca absorción a bajas frecuencias y una buena absorción a altos rangos de frecuencia. Mientras que los espectros del modelo 1 y 2 presentan además importantes picos de absorción a frecuencias medias y bajas.

#### 5. Configuraciones Optimizadas

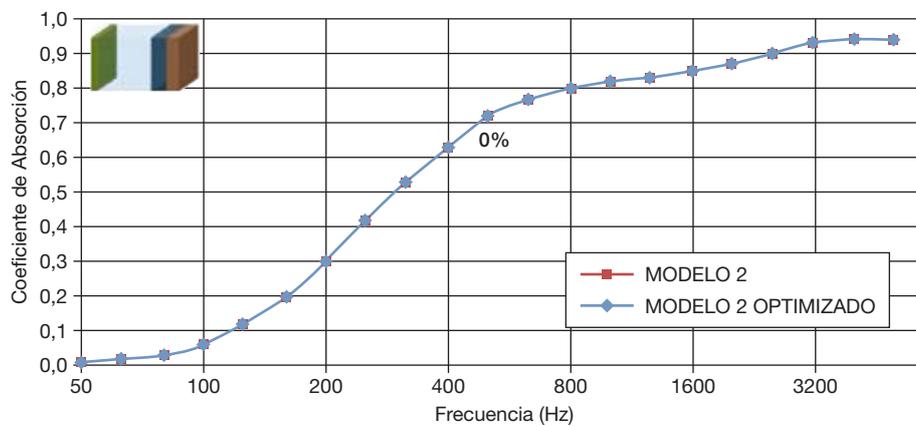
En la Figura 2, se presenta los modelos optimizados. De estos modelos; el 1 y 2 evidenciaron cambios en el espectro con relación a los modelos simulados bajo las condiciones iniciales. En la Figura 2a y 2b se evidencia un incremento del coeficiente de absorción en el rango de las frecuencias bajas y medias. En el modelo 1, en la frecuencia de 100 Hz (frecuencia que presenta mayor absorción en el rango de las frecuencias bajas), la absorción se ha incrementado en un 43%. Esto ha sido posible principalmente por la disminución del espesor de la cámara de aire y del espesor del material absorbente. En el modelo 2 el coeficiente



(a)  
 Modelo 1 bajo condiciones iniciales:  $m_a = 50$  mm, c.a. = 800 mm,  $\varnothing = 3$  mm,  $p = 51\%$ ,  $ep = 1$  mm  
 Modelo 1 optimizado:  $m_a = 10$  mm, c.a. = 600 mm,  $\varnothing = 3$  mm,  $p = 51\%$ ,  $ep = 1$  mm



(b)  
 Modelo 2 bajo condiciones iniciales  $m_a = 10 + 40$  mm, c.a. = 800 mm,  $\varnothing = 3$  mm,  $p = 51\%$ ,  $ep = 1$  mm  
 Modelo 2 optimizado:  $m_a = 10 + 40$  mm, c.a. = 600 mm,  $\varnothing = 3$  mm,  $p = 51\%$ ,  $ep = 1$  mm



(c)  
 Modelo 3 bajo condiciones iniciales y optimizado:  $m_a = 50$  mm, c.a. = 800 mm,  $\varnothing = 3$  mm,  $p = 51\%$ ,  $ep = 1$  mm

**Figura 2.** Diagrama coeficiente de absorción acústica vs Frecuencia de los modelos bajo condiciones iniciales y optimizados, (a) modelo 1; (b) modelo 2 y (c) modelo 3.

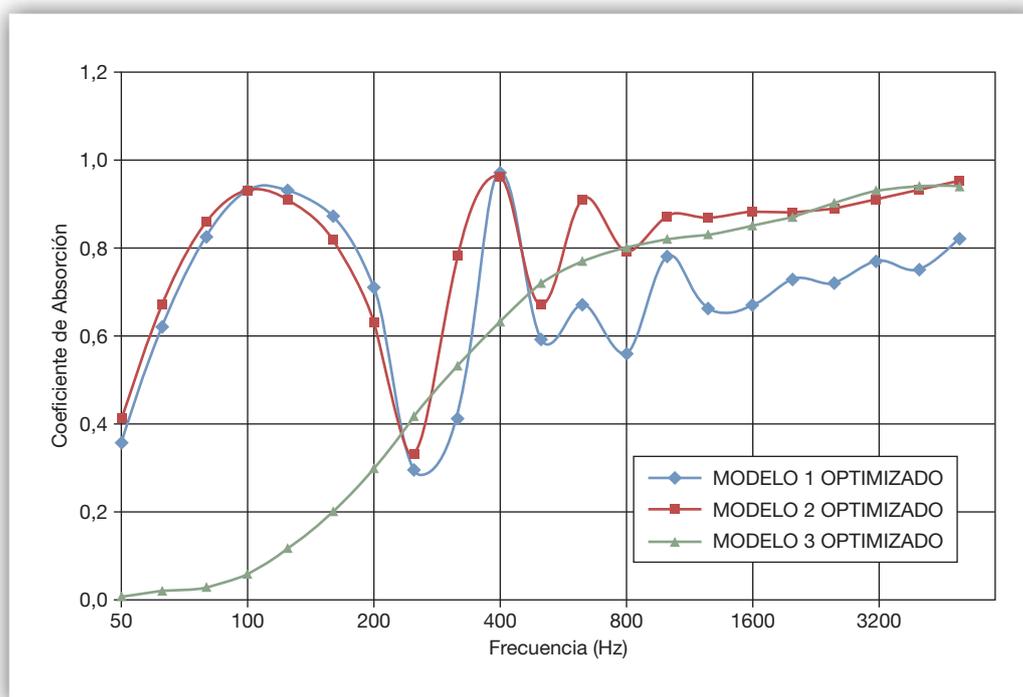


Figura 3. Diagrama coeficiente de absorción acústica vs Frecuencia de los modelos optimizados.

de absorción mejoró su comportamiento en un 10% en el rango de frecuencias bajas con relación al modelo inicial al disminuir la cavidad de aire. Con el proceso de optimización del modelo 3, no se logró ningún cambio con respecto al modelo inicial, por lo que en este caso el incremento del coeficiente de absorción después de la optimización es cero.

En todos los modelos el espesor del panel perforado debió ser lo más pequeño posible para lograr una mayor absorción a altas frecuencias. Por otro lado, el porcentaje de perforación debe ser mayor al 20% para mejorar el comportamiento acústico en el rango de las frecuencias altas caso contrario el panel multicapa empieza a trabajar selectivamente en el rango de medias y altas frecuencias criterio que se comparte con algunas investigaciones como [27] y [29], esto resulta conveniente al considerar que el *squeal*, propio de los trenes se encuentra en el rango de las frecuencias altas.

En la Figura 3, se muestran los tres modelos optimizados, en el rango de las frecuencias de interés, los modelos optimizados 1 y 2, alcanzaron un buen comportamiento de absorción a bajas frecuencias, sin embargo en el rango de las medias y altas frecuencias el modelo 2 supera la absorción acústica del modelo 1, al adherir 40mm adicionales de material absorbente a la pared rígida. El modelo optimizado 3, presenta pésima absorción a bajas frecuencias; buena absorción a frecuencias medias y muy buena absorción a frecuencias altas.

## 6. Conclusiones

A lo largo de este estudio, el comportamiento de fachadas arquitectónicas, construidas a base de paneles perforados metálicos ha sido evaluado mediante la simulación de los modelos propuestos, a fin de lograr la mayor absorción acústica frente al ruido generado por fuentes externas: tráfico vehicular, aviones y trenes. Así, se formuló tres modelos los cuales fueron optimizados mediante un software de simulación para la obtención del coeficiente de la absorción acústica.

Para lograr la mayor absorción de sonidos a frecuencias bajas y medias de fachadas arquitectónicas, construidas a base de paneles perforados metálicos se puede usar los modelos optimizados 1 o 2. El reducir el espesor del material absorbente permite reducir el peso del conjunto. Por otro lado, para mantener un buen comportamiento en todo el rango de frecuencias, optar por el modelo optimizado 2. Para sonidos a frecuencias medias y altas, como es el caso del *squeal* de los trenes, objeto también de este estudio, el modelo optimizado 3 debe ser elegido.

El disminuir la cámara de aire y el espesor del material absorbente en el modelo 1 ha hecho posible el aumento del coeficiente de absorción en el rango de frecuencias medias y bajas. En el modelo 2 el coeficiente de absorción mejoró su comportamiento al disminuir la cámara de aire. Finalmente, el modelo 3 no pudo ser optimizado.

## 7. Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Ramón Lozada catedrático de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao de la Universidad del País Vasco/ Euskal Erriko Unibertsitatea y a la empresa RMIG LTD por su colaboración para el desarrollo de esta investigación.

## 8. Referencias

- [1] A. d. I. P. d. G.C., «Manual del Ruido», *Departamento de Construcción arquitectónica* 2006.
- [2] L. A. Arturo Maristany, Miriam Agosto, Lorena Carrizo Miranda, «Influencia de la conformación de las fachadas en la atenuación del ruido», *Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas - CIA. Universidad Nacional de Córdoba*.
- [3] R. Vijay, A. Sharma, T. Chakrabarti, and R. Gupta, «Assessment of honking impact on traffic noise in urban traffic environment of Nagpur, India», *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, vol. 13, p. 10, 2015.
- [4] A. Can, L. Leclercq, J. Lelong, and D. Botteldooren, «Traffic noise spectrum analysis: Dynamic modeling vs. experimental observations», *Applied Acoustics*, vol. 71, pp. 764-770, 8// 2010.
- [5] G. R. Watts, S. N. Chandler-Wilde, and P. A. Morgan, «The combined effects of porous asphalt surfacing and barriers on traffic noise», *Applied Acoustics*, vol. 58, pp. 351-377, 1999.
- [6] E. Parleament, «Reducing Railways Noise Pollution», 2012.
- [7] T. Okuzono and K. Sakagami, «A finite-element formulation for room acoustics simulation with micro-perforated panel sound absorbing structures: Verification with electro-acoustical equivalent circuit theory and wave theory», *Applied Acoustics*, vol. 95, pp. 20-26, 8// 2015.
- [8] P. E. González de la Peña, «El futuro de las soluciones acústicas en Fachadas», *44º Congreso Español de Acústica Encuentro Ibérico de Acústica EAA European Symposium on Environmental Acoustics And Noise Mapping*, 2013.
- [9] C. Yang and L. Cheng, «Sound absorption of micro-perforated panels inside compact acoustic enclosures», *Journal of Sound and Vibration*, vol. 360, pp. 140-155, 1/6/ 2016.
- [10] M. Carrier, P. Apparicio, and A.-M. Séguin, «Road traffic noise in Montreal and environmental equity: What is the situation for the most vulnerable population groups?», *Journal of Transport Geography*, vol. 51, pp. 1-8, 2// 2016.
- [11] «An ideal absorbing materials in architectural acoustics: Micro-perforated panel absorbers», *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 119, pp. 3250-3250, 2006/05/01 2006.
- [12] W. C. Jesús Carbajo<sup>1</sup>, Jeniffer Torres<sup>2</sup>, Jaime Ramis<sup>2</sup>, David Molina, «Una Alternativa para el Estudio Acústico de Paneles Perforados», *VIII Congreso Ibero-Americano de Acústica*, 2012.
- [13] M. Toyoda, S. Kobatake, and K. Sakagami, «Numerical analyses of the sound absorption of three-dimensional MPP space sound absorbers», *Applied Acoustics*, vol. 79, pp. 69-74, 5// 2014.
- [14] Z. Z. Tao, B; Herrin, D.W; Seybert, A.F., «Prediction of Sound-Absorbing Performance of Micro-Perforated Panels Using the Transfer Matrix Method.», *2005 SAE Noise and Vibration Conference and Exhibition: technical paper*, 2005.
- [15] Z. Liu, J. Zhan, M. Fard, and J. L. Davy, «Acoustic properties of multilayer sound absorbers with a 3D printed micro-perforated panel», *Applied Acoustics*, vol. 121, pp. 25-32, 6// 2017.
- [16] S. M. Kimihiro, Yairi; Masayuki, Morimoto, «Multiple-leaf sound absorbers with microperforated panels: An overview», *Acoustics Australia*, vol. 38, pp. 76 - 81, 2010.
- [17] T. Herdtle, J. S. Bolton, N. N. Kim, J. H. Alexander, and R. W. Gerdes, «Transfer impedance of micro-perforated materials with tapered holes», *J Acoust Soc Am*, vol. 134, p. 4752, Dec 2013.
- [18] K. Sakagami, M. Morimoto, and M. Yairi, «Recent developments in applications of microperforated panel absorbers», in *14th International Congress on Sound and Vibration 2007, ICSV 2007*, 2007, pp. 4465-4482.
- [19] M. Toyoda, K. Sakagami, M. Okano, T. Okuzono, and E. Toyoda, «Improved sound absorption performance of three-dimensional MPP space sound absorbers by filling with porous materials», *Applied Acoustics*, vol. 116, pp. 311-316, 1/15/ 2017.
- [20] X.-L. Gai, T. Xing, X.-H. Li, B. Zhang, and W.-J. Wang, «Sound absorption of microperforated panel mounted with helmholtz resonators», *Applied Acoustics*, vol. 114, pp. 260-265, 12/15/ 2016.
- [21] Dengke Li, Daoqing Chang, Bilong Liu, and J. T. Key, «A Perforated Panel Sound Absorber for Low Frequencies» *The 22nd International Congress On Sound and Vibration*, 2015.

- [22] Okano M, Sakagami K, and Y. M, «Effect of a porous absorbing layer on absorption characteristics of a double-leaf MPP space sound absorber», *Memoirs Graduate Sch Eng Syst Inform Kobe Univ*, pp. 7-12, 2014.
- [23] X. Hua, D. W. Herrin, and P. Jackson, «Enhancing the Performance of Microperforated Panel Absorbers by Designing Custom Backings», *SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst.*, vol. 6, pp. 1269-1275, 2013.
- [24] J. Pfretzschner, F. Simón, and C. d. I. Colina, «Acoustic Absorbent Panels with Low Perforation Coefficient», *Acústica*, pp. 1-8, 2004.
- [25] K. Sakagami, K. K. S. Kobatake, and M. Y. M. Morimoto, «Sound absorption characteristics of a single microperforated panel absorber backed by a porous absorbent layer», *Acoustics Australia*, vol. 39, pp. 95-1.
- [26] W. Liu and D. W. Herrin, «Enhancing microperforated panel absorption by subdividing the backing air-space into channels and resonators», in *Proceedings of the INTER-NOISE 2016 - 45th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering: Towards a Quieter Future*, 2016, pp. 4099-4106.
- [27] J. Pfretzschner, F. Simón, and C. d. I. Colina, «Acoustic Absorbent Panels With Low Perforation Coefficient», *Acústica 2004*, 2004.
- [28] F. Rodríguez and J. d. I. P. Crespo, «Guía Acústica de la Construcción», 2006.
- [29] T. Whitehead, «The Design of Resonant Absorbers» Master University Thesis, University of Canterbury, New Zealand, July 2005.

## Índice de anunciantes

	Pág.
<b>AAC Acústica+Lumínica</b>	<b>2</b>
<b>Cesva Instruments</b>	<b>11-12</b>
<b>Ursa</b>	<b>21</b>
<b>Audiotec</b>	<b>22</b>
<b>Álava Ingenieros</b>	<b>35</b>
<b>Saint-Gobain Isover</b>	<b>38</b>
<b>Decustik</b>	<b>43</b>
<b>Brüel &amp; Kjaer</b>	<b>58-59</b>
<b>Urbiotica</b>	<b>90</b>
<b>Acousticware</b>	<b>94</b>
<b>Vibcon</b>	<b>97</b>
<b>Datakustik</b>	<b>100</b>



Eficiencia energética y sostenibilidad

## Cuenta con nosotros para un mañana mejor

URSA mejora la sostenibilidad y eficiencia energética de los edificios en los que se instalan sus productos de lana mineral y poliestireno extruido (XPS). Nuestras soluciones aportan un mayor ahorro para los usuarios, un menor consumo energético y un descenso en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

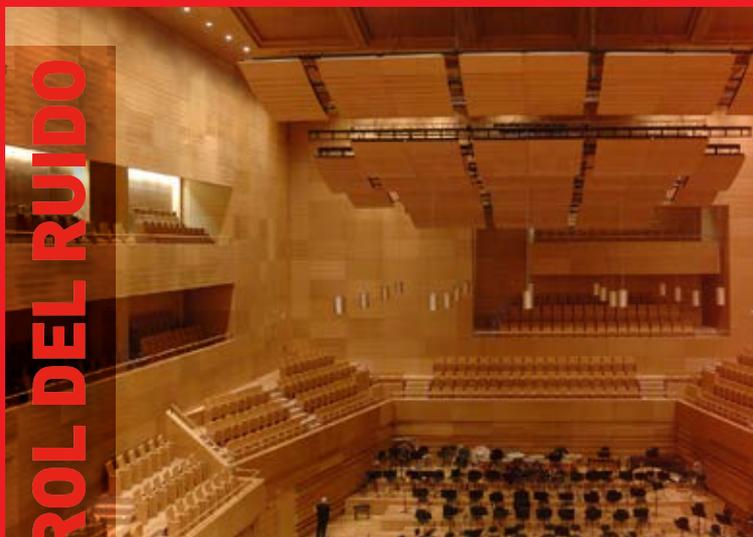
Aislando térmica y acústicamente nuestros hogares, oficinas o espacios de ocio conseguiremos mayor confort, durabilidad y seguridad. Nuestra experiencia es nuestra mejor garantía.

Contamos contigo para seguir construyendo URSA día a día.

Aislamiento para un mañana mejor



**SOLUCIONES EN INGENIERÍA ACÚSTICA Y CONTROL DEL RUIDO**



**30 AÑOS DE EXPERIENCIA  
EN ACÚSTICA APLICADA**

**PROYECTOS Y ESTUDIOS ACÚSTICOS  
ACONDICIONAMIENTO Y AISLAMIENTO  
EN EDIFICACIÓN E INDUSTRIA  
MAPAS DE RUIDO Y PLANES DE ACCIÓN  
CERTIFICACIÓN ACÚSTICA PRODUCTOS  
CONSULTORÍA Y FORMACIÓN  
LABORATORIO ACREDITADO POR ENAC**

Descarga nuestra app:



**COLABORADOR DEL PROGRAMA  
DE INTERCOMPARACIÓN DE  
LABORATORIOS DE ACÚSTICA 2017**

**¡INSCRÍBETE AHORA!**

**902 37 37 99**

**info@audiotec.es**

**www.audiotec.es**

