

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v6i12.0102>

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE AISLAMIENTO ACÚSTICO PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

DESIGN AND EVALUATION OF AN ACOUSTIC ISOLATION SYSTEM FOR SOCIAL INTEREST HOUSING

Cañarte-Rodríguez Beder Fabricio ¹; Caballero-Giler Beatriz Irene ²

¹ Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.

Correo: bcanarte8575@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-1112-0699>

² Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.

Correo: beatriz.caballero@utm.edu.ec ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2008-864X>

Resumen

El uso de perlas de poliestireno expandido en hormigón liviano para aislar ruidos puede convertirse en una alternativa extremadamente viable en términos técnicos, económicos y ambientales en las viviendas medianeras en Ecuador, los cuales no están diseñados para aislamiento acústico debido al alto costo de los materiales aislantes acústicos como lana de vidrio o roca. Sin embargo, pocas investigaciones han indagado las propiedades de este material en viviendas de interés social. La presente investigación tuvo como objetivo investigar el aislamiento acústico del hormigón liviano con perlas de poliestireno expandido en laboratorio, empleando una minicámara reverberante y poniendo a prueba la muestra creada por un fabricante local, cuyo costo y especificaciones técnicas cumplen con el objetivo propuesto y la norma ISO 140-3. Los resultados de la investigación fueron prometedores, especialmente a frecuencias superiores a 500 Hz y dadas las señales de viabilidad de la aplicación de estas placas de hormigón liviano con perlas de poliestireno expandido en viviendas de interés social, sin tener que ampliar los costos de construcción con materiales aislantes acústicos adicionales. Las bajas frecuencias son más difíciles de bloquear a su mayor longitud de onda, por lo que se recomienda realizar estudios posteriores con placas de diferente densidad, en cámaras reverberantes de mayor tamaño y probar el material para particiones en las viviendas para medir el poder de aislamiento acústico.

Palabras clave: aislamiento acústico, hormigón ligero con poliestireno expandido, viviendas de interés social.

Abstract

The use of expanded polystyrene beads in lightweight concrete to insulate noise can become an extremely viable alternative in technical, economic and environmental terms in semi-detached houses in Ecuador, which are not designed for acoustic insulation due to the high cost of insulating materials. acoustic materials such as glass wool or rock. However, few investigations have investigated the properties of this material in social housing. The objective of this investigation was to investigate the acoustic insulation of lightweight concrete with expanded polystyrene beads in the laboratory, using a reverberant mini-chamber and testing the sample created by a local manufacturer, whose cost and technical specifications meet the proposed objective and the standard. ISO 140-3. The results of the research were promising, especially at frequencies above 500 Hz and given the signs of feasibility of applying these lightweight concrete slabs with expanded polystyrene beads in low-income housing, without having to increase construction costs with additional soundproofing materials. Low frequencies are more difficult to block at their longer wavelength, so it is recommended to carry out further studies with plates of different density, in larger reverberant chambers, and to test the material for partitions in homes to measure the insulation power. air acoustics.

Keywords: acoustic insulation, lightweight concrete with EPS, social housing.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 02 de febrero de 2023.

Fecha de aceptación: 16 de marzo de 2023.

Fecha de publicación: 10 de julio de 2023.

1. Introducción

El ruido es un problema desafiante, complejo y en continuo crecimiento, característico de las ciudades modernas y tecnologizadas, que origina impactos en la salud, en la calidad de vida y en la productividad de un gran porcentaje de la población a nivel mundial (Rodríguez y Juárez, 2020). Este problema se percibe especialmente en el interior de los edificios, donde son cada vez mayores los niveles de calidad y confort que exigen los usuarios (Carrascal et al., 2020), siendo demandadas con insistencia el cumplimiento de ciertos códigos y reglamentos que rigen las condiciones acústicas aceptables que permitan poder vivir, trabajar y descansar sin ser molestados por sonidos no deseados.

Estas condiciones mínimas de habitabilidad implican que el aislamiento acústico al ruido, tanto proveniente del interior del edificio como del exterior de este, cumplan unos mínimos que garanticen el confort de los usuarios. La primera solución, un tanto obvia, sería suprimir las fuentes, o rebajar su emisión hasta niveles tolerables. Pero esto no siempre es posible,

especialmente si se trata de las condiciones exteriores (tráfico, peatones, entre otros), debido a que el ruido entre viviendas puede ser transmitido por el aire y transmitido por estructuras (González, 2021). El sonido aéreo se transmite a través de los límites que separan las habitaciones y puede mitigarse con medidas de aislamiento acústico, como la inserción de materiales aislantes entre las paredes (Gaitan, 2020). Los ruidos aéreos, como las voces o la música, aportan una energía sonora al aire, desde el cual ésta pasa a los elementos de los que se compone el edificio.

Si la fuente principal del sonido propagado por la estructura es el sonido irradiado por una fuerza de impacto que provoca la vibración del piso en la planta ubicada directamente arriba, se puede mitigar incrustando una capa de material elástico amortiguador en el suelo (Arbito y Contreras, 2022). Los ruidos de impactos, como las pisadas, aportan la energía directamente a la estructura del edificio y se transmiten a través de ella, y está influenciado por la composición y el espesor del piso, la forma de la habitación y las

características físicas de los materiales resilientes. Esto es básicamente lo que regulan las normas de infraestructura en Corea del Sur, donde se exige un piso flotante construido con capas de concreto aireado, material amortiguador elástico y losa de espesores apropiados (Min et al., 2018). El parámetro que caracteriza el aislamiento a ruido de impactos está definido a partir del nivel de presión sonora de ruido de impactos que se percibe en el receptor, por lo que, a mayor valor de aislamiento de ruido de impactos, dispondremos de menor confort (Salazar, 2019).

El ruido se puede definir como "sonido desagradable o no deseado" u otras perturbaciones. Desde el punto de vista acústico, el sonido y el ruido constituyen el mismo fenómeno de las fluctuaciones de presión atmosférica sobre la presión atmosférica media; la diferenciación es muy subjetiva. Lo que es un sonido para una persona puede ser considerado un ruido para otra persona. El reconocimiento del ruido como peligro para la salud es un tema actualmente muy estudiado como, por ejemplo, la música amplificada considerada sólida (no

ruido) puede darles placer a muchas personas, sin embargo, el ruido excesivo probablemente les de placer a muy pocos o ninguna persona (Paspuel et al., 2022).

El sonido es el fenómeno que experimentamos cuando nuestros oídos están excitados por las vibraciones del gas que nos rodea. Cuando un objeto vibra, pone en movimiento el aire que lo rodea, enviando ondas alternas de compresión y rarefacción que se irradian hacia el exterior del objeto (Li et al., 2018). La información del sonido se transmite por la amplitud y frecuencia de las vibraciones, donde la amplitud se experimenta como volumen y la frecuencia como tono (Licciardo, 2021). La unidad de medida del sonido es el decibelio (dB), unidad que se utiliza para expresar la relación entre la presión sonora, o tensión y potencia eléctrica. Las ondas de sonido son ondas longitudinales de compresión y rarefacción en las que las moléculas de aire se mueven de un lado a otro, paralelas a la dirección de viaje de la onda centradas en una posición promedio (García, 2020), lo que da como resultado que no haya

un movimiento neto de las moléculas.

Dentro de los fenómenos físicos que afectan a la propagación del sonido se encuentran la reflexión, donde la onda choca con un obstáculo que no puede traspasar y se refleja (vuelve al medio del cual proviene), lo cual depende del tamaño del obstáculo y la longitud de onda, es decir, si el obstáculo es pequeño en relación con la longitud de onda, el sonido lo rodeará (difracción), si esto no sucede entonces el sonido se reflejará (Iguamba, 2018). Si la onda se refleja, el ángulo de la onda reflejada es igual al ángulo de la onda incidente, de modo que, si una onda sonora incide perpendicularmente sobre la superficie reflejante, esta volverá sobre sí misma. Cuando una onda sonora alcanza una superficie, la mayor parte de su energía se refleja, pero un porcentaje de ésta es absorbida por el nuevo medio (absorción) (Licciardo, 2021). De allí que algunos materiales pueden clasificarse en resonantes, porosos, absorbentes, empleados para absorben sonido dependiendo de su frecuencia. En muchos obstáculos planos (como paredes), la energía se

transmite al otro lado del obstáculo (transmisión) (González, 2021). Cuando el sonido pasa de un medio a otro diferente, (o cuando las características del medio no son homogéneas) desviándose de la dirección de su propagación, cambia la velocidad de propagación del sonido (refracción) (Radziejowska y Rubacha, 2018).

En la práctica, al hablar de absorción en una habitación no sólo se refiere al sonido que desaparece en forma de calor, sino a todo el que no es reflejado (es decir, el absorbido más el transmitido) (González, 2021). Por ejemplo, la fibra de vidrio es buen absorbente, pero si se construye sólo con fibra de vidrio la mayor parte del sonido pasaría de una habitación a la otra, porque la fibra de vidrio es porosa, es absorbente pero no aislante. Un muro de hormigón, por el contrario, es un buen aislante sonoro y no permite que mucho sonido pase de un lado a otro (Garay y Pino, 2019); pero refleja la totalidad del sonido que le llega de una habitación hacia el interior la misma, porque es aislante pero no absorbente.

De esta forma, el aislamiento es el principal método de control de la

transmisión del sonido entre recintos de un edificio, mientras que de la absorción depende el acondicionamiento acústico interior de un recinto. Y la combinación de ambos efectos en los elementos constructivos ayuda a mejorar el aislamiento acústico del sistema. A nivel internacional, la norma ISO 15186-1:2000 estipula la metodología para evaluar la aislación acústica en los edificios y de los elementos de construcción (International Organization for Standardization, ISO, 2021), utilizado en el Ecuador como alternativa a ISO 140-3 e ISO 140-10.

Dentro de las soluciones más comunes empleadas en viviendas de interés social para el aislamiento acústico, el corcho es uno de los materiales más conocido debido a su propiedad ecológica y de fácil colocación que se adapta a cualquier superficie (Oxsa, 2020); agregar multicapas de algodón y otros componentes ecológicos y bastantes livianos para transportar (Balagué, 2022); fibra de vidrio, que no sólo sirve como aislante acústico sino también como aislante térmico (González, 2021); yeso o pladur, con

el que se puede aumentar el espesor de las paredes para actuar de forma efectiva contra el ruido aéreo (Mansilla et al., 2018)

Existen otras soluciones que mitigan el ruido aéreo, como la lana de roca y la lana de vidrio. Sin embargo, algunos estudios afirman el alto impacto ambiental de estos materiales utilizando como análisis su ciclo de vida (Vargas, 2020), por lo que proponen emplear soluciones más ecoeficientes basado en fibras vegetales, como kenaf, coco o yute. Al respecto, no se tiene conocimiento de la aplicación de estas fibras vegetales en construcciones de viviendas, y el acceso a estos materiales de forma industrial en el Ecuador son muy escasos, por lo que sería difícil su aplicación en la construcción a gran escala.

Pocos estudios han investigado las propiedades del hormigón armado como aislante acústico en viviendas medianeras, específicamente del tipo que encierra en su interior una placa de poliestireno expandido (EPS) conocido por sus propiedades aislantes (Schackow et al., 2019) en las fases constructivas y de uso de viviendas, lo cual es fundamental, ya

que la aplicación de este material como aislante acústico está asociado con el equilibrio óptimo entre resistencia y elasticidad (Martínez, 2020). El presente trabajo tiene como objetivo determinar el comportamiento acústico de una placa de poliestireno expandido (EPS) por un fabricante local, cuyo costo y especificaciones técnicas cumplen con el objetivo propuesto y la norma ISO 140-3, realizando pruebas en un laboratorio y comparando sus resultados con paredes de cemento convencional.

Una de las principales ventajas del sistema poliestireno expandido (EPS) es el menor tiempo de construcción, existe un ahorro entre el 30% - 50% menos en comparación con el sistema tradicional. Por ser un sistema liviano de muros portantes la construcción es más rápida y eficiente. Otra ventaja que presenta es que existe un menor costo de inversión comparado con sistemas tradicionales de construcción (20% – 30% menos), que dependiendo del tipo y calidad de los bloques y

materiales empleados, agregando los materiales para insonorización exterior como el corcho, fibra de vidrio, basalto triturado, yeso o pladur, multicapa de algodón y otros componentes, puede llegar a costar entre \$75/m² y \$200/m², mientras que la construcción con el sistema de poliestireno expandido (EPS), que no requiere instalación de sistemas de insonorización externos, varía entre \$60/m² y \$150/m². Podemos visualizar que mientras menor es la cantidad de tiempo y mano de obra, menor será el impacto económico dentro del presupuesto de la vivienda.

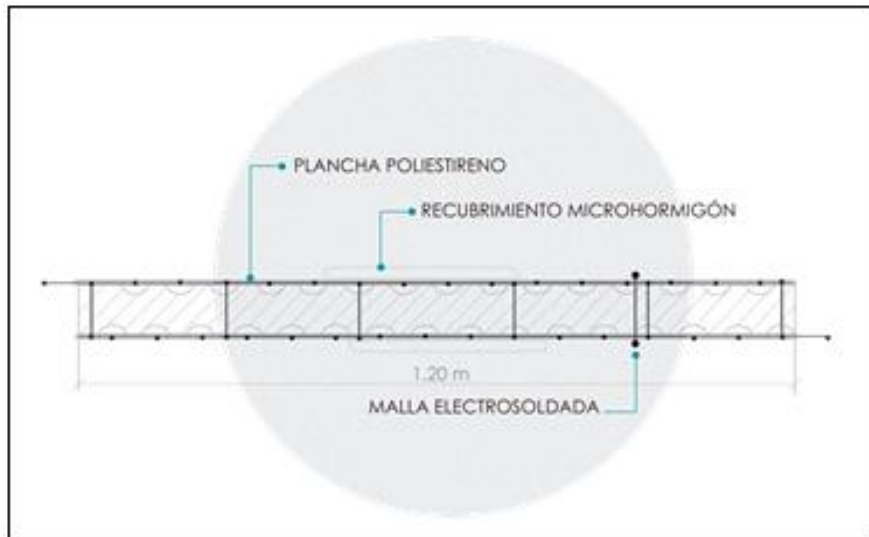
2. Materiales y métodos

Materiales. Para las pruebas de laboratorio se empleó una placa de hormigón con perlas de poliestireno expandido (EPS) (figura 1) de 1,20 x 1,00 m², y recubrimiento de microhormigón, tal como se detalla en la Figura 2. El EPS utilizado fue resultado de la polimerización de estireno en agua, producido por un fabricante local.

Figura 1. Vista transversal de muestra de las perlas de poliestireno expandido (EPS)



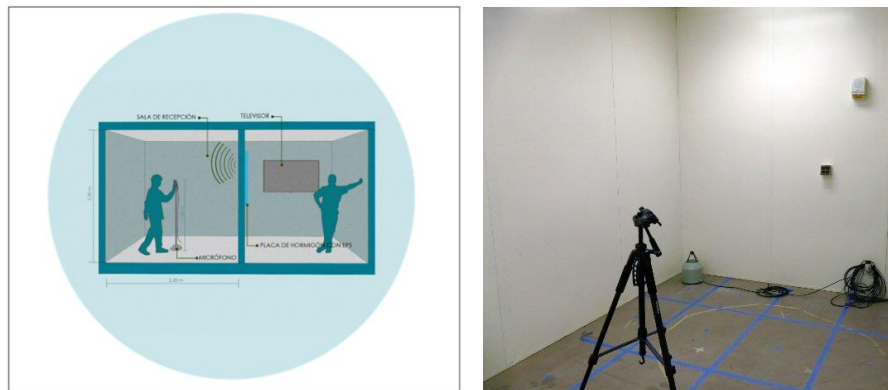
Figura 2. Placa de hormigón con perlas de EPS y recubrimiento de microhormigón.



Experimento. El objetivo de esta fase de laboratorio fue comparar el aislamiento al ruido aéreo utilizando una minicámara de reverberación perteneciente a un fabricante local, construida con bloques de hormigón con densidad de 2500 kg/m³, dimensiones internas de 1.6 x 2 x 2.5 m³ enlucida con cemento

convencional de 2 cm de espesor. Esto se describe en la Figura 3.

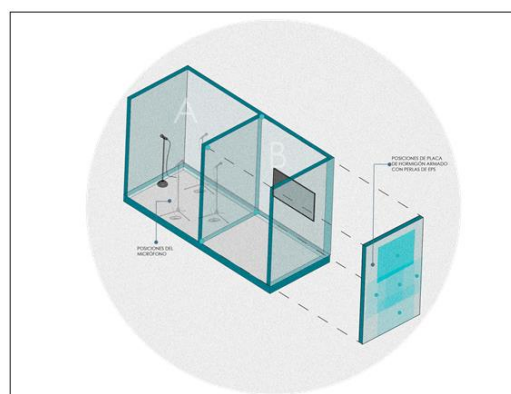
Figura 3. Minicámara de reverberación (a) esquema de instalación interior (b) vista interior de los equipos instalados



Las mediciones se realizaron utilizando un televisor como fuente de sonido, y para las mediciones de los niveles de presión sonora en la sala de recepción fue empleado un micrófono de campo difuso tipo 4943 de 1/2 pulgada con un rango de 3.15Hz a 10kHz. La Figura 3 muestra las posiciones del micrófono y la placa de hormigón armado con perlas de EPS. Se emplearon cuatro posiciones diferentes del micrófono (lado A, vista desde arriba de la sala de recepción donde se muestran las cuatro posiciones diferentes del micrófono) y cinco posiciones

diferentes en la placa de hormigón armado con perlas de EPS para la fuente de sonido (lado B muestra la vista frontal de la pared de la sala de recepción de la minicámara con las 5 posiciones diferentes de la placa), las cuales fueron combinadas para un total de 20 mediciones. La minicámara proporciona aislamiento acústico de aproximadamente 30 dB, frecuencia de Schroeder de aproximadamente 400 Hz. Debido a sus reducidas dimensiones internas, los difusores de sonido se utilizan para aumentar el grado de difusión del sonido en el interior.

Figura 4. Posiciones del micrófono y la placa de hormigón armado con perlas de EPS



Los resultados medidos en las pruebas fueron los valores del nivel de presión del sonido aéreo por banda de frecuencia (L) de un tercio de octava de 125 a 3.150 Hz (Caballo et al., 2020). La capacidad de aislamiento fue determinada por la diferencia entre el nivel sonoro de la pared de la minicámara (ΔL), (de solo cemento convencional), y el nivel sonoro de la pared de la minicámara cubierta con el material bajo prueba (placa de hormigón armado con perlas de EPS).

3. Resultados y discusión

Posterior a la comparación realizada en esta investigación sobre el aislamiento al ruido aéreo a través del uso de una minicámara de reverberación enlucida con cemento convencional, y una placa de hormigón armado con poliestireno expandido (EPS) obteniendo una serie de resultados que se mencionan a continuación:

La Tabla 1 muestra el valor L de la pared de la minicámara. Esta pared está construida con bloques de hormigón con densidad de 2500 kg/m³ y tiene 2 cm de cemento convencional. Según el fabricante, la diferencia entre el nivel sonoro de la pared de la minicámara (ΔL) es de 30 dB que se encuentra dentro del límite de ruido aéreo permitido, de acuerdo con la norma ISO 1996-1 (ISO 1996-1:2016, 2016) que establece que el límite de ruido aéreo para el confort humano es de 35 dB durante el día y 30 dB durante la noche. Sin embargo, este dato difiere de las mediciones realizadas en las que se obtuvo una diferencia de 3.36 dB para la reducción de sonido aéreo, porque el nivel sonoro de la minicámara ha sido calculado considerando tanto el sonido aéreo como el impacto de sonido (ΔD). El promedio de la reducción del ruido aéreo del hormigón armado con perlas de EPS fue de 10.22 dB.

Tabla 1. Valores ponderados para la reducción del ruido aéreo

Valor L de la pared de la minicámara (10 cm) (dB)	Tipo de pared	ΔL (dB)
30	Convencional	3.36
	Hormigón armado con perlas de EPS	10.22

Seguidamente, la Tabla 2 muestra los datos específicos del promedio de la reducción del ruido aéreo de la pared de cemento convencional de la minicámara y la Tabla 3 sobre los datos obtenidos de la placa de hormigón con perlas de poliestireno expandido (EPS), con los cuales fueron elaborados las curvas de reducción del ruido aéreo por frecuencia obtenidas al ensayar la placa de hormigón armado con perlas de EPS, tal como se visualiza en la Figura 4. El cemento convencional contribuyó

mínimamente a la reducción de los niveles de presión sonora debido a la alta rigidez del cemento, mientras que el hormigón armado con perlas de EPS, mostró un comportamiento acústico muy superior al del cemento, especialmente en frecuencias superiores a 500 Hz. La baja rigidez del EPS, incorporadas en gran cantidad a la masa de cemento, dotó a la placa de una mayor capacidad de deformación elástica, haciéndola capaz de disipar la energía de las vibraciones.

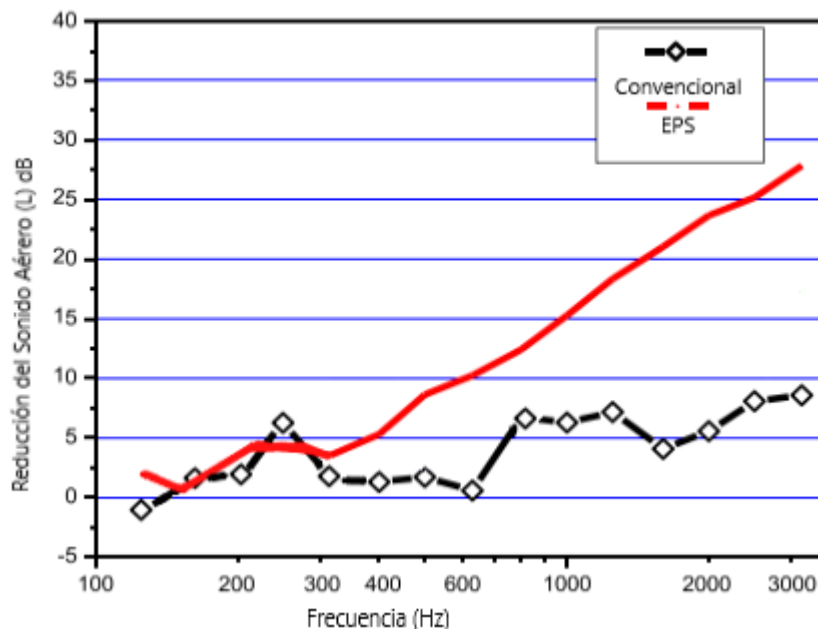
Tabla 2. Valores específicos para la reducción del ruido aéreo y la pared de cemento convencional

Cemento convencional y reducción del sonido aéreo (L) dB									
Primera muestra	-1	4	6	0	-1	-2	5	3	6
Segunda muestra	-2.5	-2	6	6	2	2	8	6	12
Tercera muestra	-1	4	6	6	4.5	2.4	8	7.5	9
Promedio de reducción del Sonido Aéreo (L) dB	-1.5	2	4	2	1.5	0.8	7	5.5	9
Frecuencia (Hz)	125	160	240	300	400	600	1000	2000	3150

Tabla 3. Valores específicos para la reducción del ruido aéreo y la pared de hormigón con perlas de poliestireno expandido (EPS)

Placa de hormigón con perlas de poliestireno expandido (EPS) y reducción del sonido aéreo (L) dB									
Primera muestra	-4.5	-1	-3	-3.5	1	8	12	20	25
Segunda muestra	7.5	0	12	10.5	12	12	18	26	31
Tercera muestra	-3	2	-5	-4	2	10	15	23	28
Promedio de reducción del Sonido Aéreo (L) dB	2.5	1	4	3.5	5	10	15	23	28
Frecuencia (Hz)	125	160	240	300	400	600	1000	2000	3150

Figura 5. Reducción del ruido aéreo



La placa con hormigón armado con perlas de EPS presentó el equilibrio óptimo entre las propiedades acústicas y mecánicas. La resistencia a la compresión era entre 3 y 4 MPa (según las descripciones del fabricante), lo cual no era el nivel de endurecimiento excesivo del material pero sí suficiente para absorber las ondas de sonido del televisor. El espesor no fue una variable importante para la atenuación del sonido aéreo porque hay un efecto sobre L (ligera mejora a frecuencias más bajas de 400 Hz) pero no significativo sobre ΔL . El aumento del espesor resultó indirectamente en un aumento en la densidad superficial del material, para el cual la acción más efectiva es la ruptura de la unión rígida entre la

fuente primaria de ruido y la estructura de la vivienda.

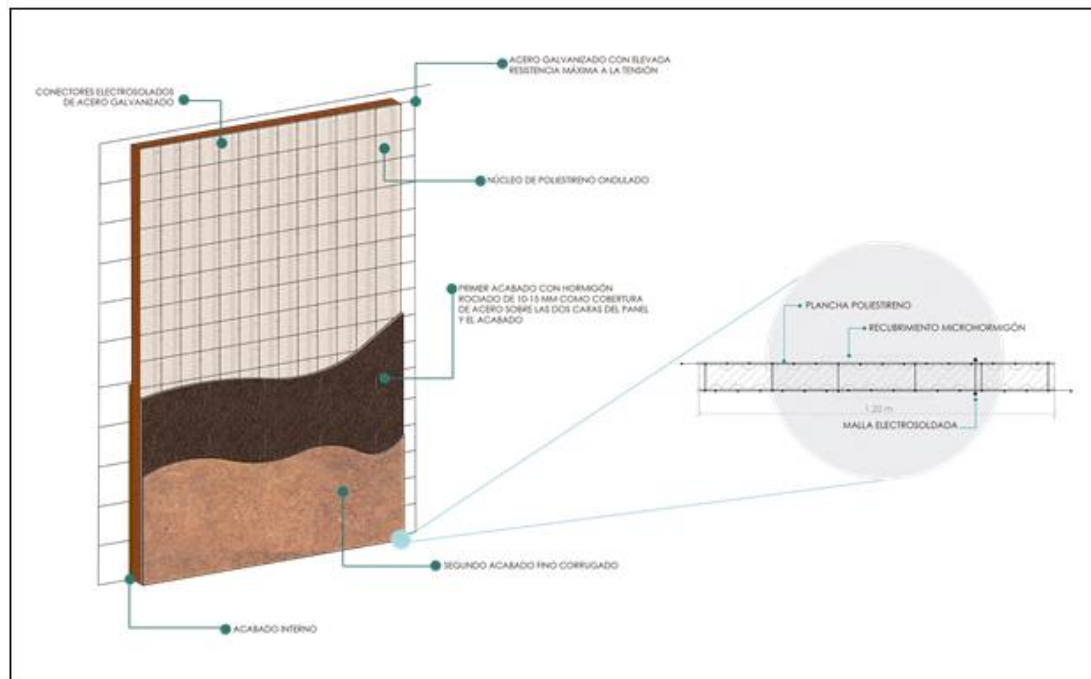
El mejor desempeño acústico de la placa de hormigón armado con perlas de EPS en altas frecuencias se debe a que las bajas frecuencias son más difíciles de bloquear debido a su mayor longitud de onda. Además, dado que los ensayos se realizaron en una cámara de pequeño tamaño, las resonancias naturales de la estructura de la cámara se produjeron a frecuencias más altas y coincidieron con las bandas de frecuencia de interés de las medidas de aislamiento, provocando interferencias. Sin embargo, a partir de 400 Hz (frecuencia de Schroeder), los resultados son fiables porque la sala

deja de tener un comportamiento modal y se vuelve reverberante (Rangel, 2019).

Por lo tanto, para su construcción, el fabricante recomienda un sistema de construcción específico de la placa de hormigón armado con perlas de EPS, la cual se observa en la Figura 6. Como se indicó anteriormente,

todos los resultados se obtuvieron en una minicámara; por lo tanto, deben interpretarse de manera comparativa y preliminar, sirviendo de guía para estudios posteriores y probar preferentemente a escala real para confirmar los resultados y parámetros establecidos en ISO 140-3 (International Organization for Standardization, ISO, 2021).

Figura 6. Sistema de construcción y elaboración de placa de hormigón armado con perlas de EPS.



Fuente: Elaboración propia con información del fabricante.

4. Conclusiones

La placa de hormigón armado construido con concreto liviano con perlas de EPS de un fabricante local tuvo un desempeño acústico de 10.22 dB, muy superior al 3.36 dB

del cemento convencional, lo que quiere decir que la capacidad del material puesto a prueba tiene una mayor reducción de ruido aéreo, especialmente en los casos de frecuencias mayores a 500 Hz. A pesar de la diferencia de los datos

por el fabricante en cuanto al nivel sonoro de la pared de la minicámara, las mediciones realizadas muestran una significativa diferencia entre la reducción de sonido aéreo del cemento convencional de la pared de la minicámara y la placa de hormigón armado construido con concreto liviano con perlas de EPS de un fabricante local, independientemente de la densidad aparente, especialmente a frecuencias superiores a 500 Hz.

Las bajas frecuencias son más difíciles de bloquear debido a su mayor longitud de onda. Además, existe una importante incertidumbre en los resultados utilizando frecuencias por debajo de 400 Hz debido al comportamiento de la minicámara reverberante empleada en la que ocurrieron resonancias naturales que causaron interferencia. Sin embargo, alrededor de 400 Hz (frecuencia de Schroeder), el campo de sonido en la habitación puede considerarse difuso.

La placa de hormigón armado con perlas de EPS del fabricante, presentó un desempeño acústico satisfactorio entre el mínimo nivel, constituyendo una alternativa

económica viable para el diseño de viviendas de interés social en el Ecuador. Estudios posteriores pueden realizarse con paredes completamente de este sistema y con diferente densidad, en cámaras reverberantes de mayor tamaño y probar el material para particiones en la escala real de las viviendas que permitan medir el poder de aislamiento acústico aéreo y comprobar si estos datos cumplen con lo establecido por los parámetros estandarizados de las normas ISO 140-3.

Bibliografía

- Arbito, M. V., & Contreras, C. E. (2022). Análisis y estrategias de confort en espacios patrimoniales de uso laboral: Estrategias de diseño interior de confort térmico, lumínico y acústico en espacios laborales de oficina ubicadas dentro de edificaciones patrimoniales con tipología casa-patio. *Diseño, Arte y Arquitectura*, 12, 67-109. doi: <https://doi.org/10.33324/daya.vi12.504>
- Balagué, M. (2022). Predicción del aislamiento acústico a ruido aéreo de sistemas multicapa con láminas de alta densidad. Valencia, España: Universitat Politècnica de València.

- Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/189156>
- Caballo, D., Navacerrada, M. A., Pedrero, A., & Latorre, E. (2020). Estudio de las mediciones del aislamiento acústico a baja frecuencia basados en mediciones en ventanas con distinto acristalamiento. XII Congreso Iberoamericano de Acústica (págs. 1-12). Florianópolis, Brasil: Sociedade Brasileira de Acústica - SOBRAC. Obtenido de <https://fia2020.com.br/espanhol/index.php>
- Carrascal, M., Romero, A., & Casla, M. (2020). Aplicación del RD 1367/2007 a las instalaciones de los edificios. Casos de Estudio. XI Congreso Ibérico de Acústica. 51 Congreso Español de Acústica. TECNIACÚSTICA 2020 (págs. 1-12). Madrid, España: Sociedad Española de Acústica. Obtenido de <http://sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/ID23.pdf>
- Gaitan, M. G. (2020). Sistemas de aislamiento acústico para el control del ruido en los talleres de música, danza, teatro y pintura de un centro cultural, Cajamarca - 2019. Cajamarca, Perú: Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11537/24153>
- Garay, R. M., & Pino, N. (2019). Acoustic Behavior in three types of housing: brick social housing, structural insulated panel (SIP) emergency housing and mediagua emergency housing. Revista de la construcción, 18(1), 96-110. doi: 10.7764/RDLC.18.1.96
- García, J. J. (2020). Análisis y propuesta de implementación acústica y electroacústica para el Salón de Usos Múltiples de la Universidad de las Artes. Guayaquil, Ecuador: Universidad de las Artes, Escuela de Artes Sonoras. Obtenido de <https://dspace.uartes.edu.ec/handle/123456789/320>
- González, J. A. (2021). Control de aislamiento acústico al ruido aéreo entre particiones interiores en obra terminada según la normativa del código técnico de la edificación. Córdoba, España: Universidad de Córdoba. Obtenido de <https://helvia.uco.es/handle/10396/22593>
- Iguamba, C. D. (2018). Simulación de medidas acústicas y mediciones in situ de una vivienda de nueva construcción en Barcelona. Valencia: Universitat Politècnica de València, Escuela Técnica Superior de

- Ingenieros de Telecomunicación. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/127828>
- International Organization for Standardization, ISO. (2021). ISO 15186-1:2000 Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity. International Organization for Standardization. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/26097.html>
- ISO 1996-1:2016. (2016). ISO 1996-1:2016 Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/59765.html>
- Li, J., Qin, Q., & Fu, Z. (2018). A dual-level method of fundamental solutions for three-dimensional exterior high frequency acoustic problems. *Applied Mathematical Modelling*, 63, 558-576. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.07.002>
- Licciardo, C. I. (2021). Estudio del comportamiento acústico de elementos de fachada. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/180033>
- Mansilla, J., Bender, L., & Pepino, L. (2018). Predicción del aislamiento acústico a ruido aéreo de paneles multicapa. IV Jornadas de Acústica, Audio y Sonido 2018 (págs. 1-5). Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de Tres de Febrero. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Laurence-Bender/publication/352712938_Prediccion_del_aislamiento_acustico_a_ruido_aereo_de_paneles_multicapa/links/60d4ae60299bf1ea9eb8a59e/Prediccion-del-aislamiento-acustico-a-ruido-aereo-de-paneles-multicapa.pdf
- Martínez, J. (2020). Estudio experimental y numérico del comportamiento termomecánico de forjados mixtos de hormigón ligero en situación de fuego. Oviedo, España: Universidad de Oviedo, Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10651/58256>
- Min, T., Tae, J., & Soo, J. (2018). Effect of structural vibration and room acoustic modes on low frequency impact noise in apartment house with floating floor. *Applied Acoustics*, 142, 59-69. doi:

- <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.07.034>
- Oxsa, V. (2020). Eficacia de aislantes acústicos para la reducción del ruido en habitaciones de zonas residenciales, Lima. Lina, Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/93382>
- Paspuel, J. V., Armas, J. A., & Monar, J. P. (2022). Investigación sobre la molestia al ruido y vibraciones generadas por el tránsito vehicular en la av. Maldonado, barrio Chimbacalle, sur de Quito, periodo 2021-2021. Quito, Ecuador: Universidad Central de Ecuador, Facultad de Ciencias Económicas. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/28090>
- Radziejowska, A., & Rubacha, J. (2018). Proposal of assessment of acoustic comfort - one of basic subcategories of the social of sustainable housing construction. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*, 27(3), 367-376. doi:10.22630/PNIKS.2018.27.3.36
- Rangel, J. (2019). Estudio numérico de régimen de baja frecuencia en medición de absorción en cámara reverberante, aplicado al problema de ruido urbano en viviendas. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Obtenido de <http://132.248.52.100:8080/xmloi/handle/132.248.52.100/16502>
- Rodríguez, F., & Juárez, L. (2020). Exploración cualitativa sobre el ruido ambiental urbano en la Ciudad de México. *Estudios demográficos y urbanos*, 35(3), 803-838. doi: <https://doi.org/10.24201/edu.v35i>
- Salazar, R. S. (2019). Vivienda acústicamente resiliente con su entorno: análisis de viabilidad económica y financiera. Valencia, España: Universitat Politècnica de València. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/128156>
- Schackow, A., Effting, C., Mirthes Hackenberg, A., Rozza Bortot, A., Ferrari, A., & Bolonhesi Oliveira, V. (2019). Análisis de la transmitancia térmica de las paredes y coberturas para construcciones utilizando hormigón ligero con vermiculita y EPS. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y práctica*, 12(1), 65-80. Obtenido de <http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/61226>

Vargas, A. (2020). Materiales naturales alternativos a la fibra de vidrio en los PRFV en función de su aislamiento acústico. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de América. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7838>