

EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE UNA BARRERA ACÚSTICA FRENTE A UNA FUENTE DE RUIDO

QUANTITATIVE EVALUATION OF THE EFFECT OF A NOISE SOURCE ON AN ACOUSTIC BARRIER

Salma Darina Rojas Rojas

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
sdr@azc.uam.mx

Uriel Victoria Martínez

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
uvm@azc.uam.mx

Ernesto Rodrigo Vázquez Cerón

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
ervc@azc.uam.mx

Recepción: 26/noviembre/2024

Aceptación: 27/diciembre/2024

Resumen

El ruido es un problema ambiental que afecta la salud física y psicológica de muchas personas. Para contrarrestar este problema, se ha implementado el uso de barreras acústicas, que disipan el sonido y reducen el impacto auditivo.

Este artículo propone una metodología para caracterizar el material de una barrera acústica estimulada por una fuente de ruido, obteniendo un mapa de emisión para estimar su comportamiento acústico. Con este fin realizó una evaluación teórica en un tubo de impedancia para determinar los coeficientes acústicos y determinar la respuesta de una barrera, luego con arreglo de micrófonos y una fuente de ruido se obtuvo un mapa experimental esto para diferentes frecuencias en dos materiales distintos

La comparación entre los mapas teórico y experimental mostró buenas similitudes, por lo que se determinó que el método es útil para evaluar barreras acústicas sin necesidad de crearlas.

Palabras Clave: Barrera acústica, Coeficientes acústicos, Contaminación acústica, Mapa acústico.

Abstract

Noise is an environmental issue that affects the physical and psychological health of many people. To address this problem, acoustic barriers have been implemented to dissipate sound and reduce auditory impact. This article proposes a methodology to characterize the material of an acoustic barrier stimulated by a noise source, by obtaining an emission map to estimate its acoustic behavior. To achieve this, a theoretical evaluation was performed using an impedance tube to determine the acoustic coefficients and assess the barrier's response. Then, using a microphone array and a noise source, an experimental map was obtained for different frequencies across two different materials. The comparison between the theoretical and experimental maps showed good agreement, demonstrating that the method is effective for evaluating acoustic barriers without the need to physically construct them..

Keywords: *Acoustic barrier, Acoustic coefficients, Acoustic map, Noise pollution.*

1. Introducción

En la actualidad, se ha reportado que la contaminación acústica es un problema de salud, debido a que la exposición prolongada a altos niveles de ruido causa graves daños fisiológicos que son irreversibles para el ser humano, por lo que se han buscado diversas soluciones para limitar sus efectos. Una de las soluciones propuestas es el uso de barreras acústicas compuestas por materiales de distintos espesores y propiedades, cuyo objetivo es mitigar el impacto de la contaminación sonora generada por diversas fuentes, estas barreras están diseñadas para atenuar y disminuir el ruido, ya sea mediante la reflexión o la absorción del sonido.

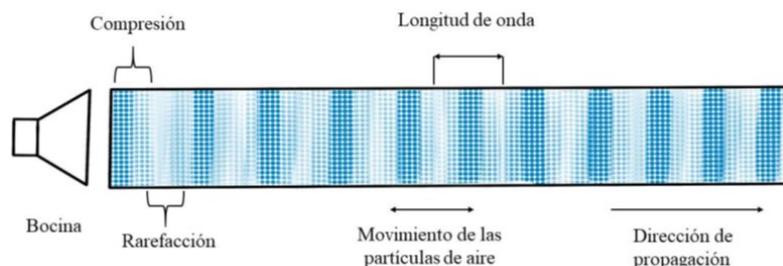
Con el crecimiento de las grandes ciudades los problemas con el ruido solo incrementan. En la Ciudad de México se registran continuas quejas por contaminación acústica, según la Procuraduría Ambiental de Ordenamiento Territorial (PAOT). A pesar de que México cuenta con normas que establecen los límites máximos permisibles para la emisión de ruido, lamentablemente estas normas en realidad no dictan un castigo para aquellos que emiten mayores niveles

de los permitidos y, aún más importante, tampoco se proponen soluciones para combatir el problema en las ciudades [PAOT, 2024].

Esto es importante ya que las personas interactúan diariamente con diversos estímulos acústicos que dependiendo del nivel y de la frecuencia generan diferentes reacciones, que varían desde la tranquilidad hasta la molestia o disgusto.

Para comprender por qué sucede esto, es importante definir que la interacción de una fuente sonora con un medio dependerá de diversos factores, en los cuales se involucra la distancia entre el origen y el punto de percepción, así como las características del entorno que integra el espacio por el cual se propaga la onda. También es importante entender que la energía sonora interactúa con los materiales haciendo que dicha energía se refleje, transmita o absorba y como consecuencia se atenúe. Es claro que los efectos producidos dependen en gran medida de la dirección de la fuente, el nivel sonoro con el que se emite, el patrón de radiación, la frecuencia, así como los coeficientes acústicos de los materiales con los que interactúa el sonido.

Para comprender este fenómeno, es fundamental definir lo que es una onda acústica longitudinal. En estado estacionario, este tipo de onda presenta un patrón alternado de compresión y expansión a medida que se propaga a través de un material, siendo el aire el medio más común. Estos cambios en la densidad y presión del aire causan variaciones en la compresión del mismo [Kinsler, 1990], tal como se ilustra en la Figura 1.



Fuente: elaboración propia

Figura 1 Representación parcial del sonido como onda de presión.

La Ecuación de la onda diferencial parcial de segundo orden que describe la propagación de una onda acústica está dada por la Ecuación 1.

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (1)$$

Donde:

ξ : Variable de desplazamiento longitudinal

c^2 : Módulo de Young o módulo de elasticidad (Y) entre la densidad

ρ : Masa por unidad de volumen.

Siendo su solución armónica compleja la Ecuación 2

$$\xi = Ae^{j(\omega t - kx)} + Be^{j(\omega t + kx)} \quad (2)$$

Y que se puede reducir a la forma de la Ecuación 3.

$$\xi = Ae^{j(\omega t \pm kx)} \quad (3)$$

El desplazamiento longitudinal ξ se puede definir como la presión. Como resultado, la presión se expresa mediante la Ecuación 4.

$$P(x, t) = Ae^{j(\omega t \pm kx)} \quad (4)$$

Donde

A : Máxima amplitud de presión

ω : Frecuencia

t : Variable temporal

x : Posición en instante de tiempo

k : Número de onda

Con esto en mente tenemos que los materiales tienen propiedades acústicas que dependen de su composición, estas son reflexión, transmisión y absorción, las cuales se presentan después de que una onda impacta el material, en particular, la presión de la onda acústica incidente interactúa con la estructura interna del material, generándose una componente de presión reflejada y otra componente de presión transmitida, así mismo se produce absorción en la estructura interna del material disipándose en forma de calor. Estas magnitudes de presión acústica son utilizadas para cuantificar los coeficientes acústicos donde el coeficiente de reflexión (R) se define como la razón entre la magnitud de la presión de onda reflejada y la onda incidente, Ecuación 5.

$$|R| = \frac{A_r e^{j(\omega t \pm kx)}}{A_i e^{j(\omega t \pm kx)}} \quad (5)$$

Mientras que el coeficiente de transmisión acústico (T) es la división de la onda incidente respecto a la onda transmitida, el cual se define en la Ecuación 6:

$$|T| = \frac{A_t e^{j(\omega t \pm kx)}}{A_i e^{j(\omega t \pm kx)}} \quad (6)$$

El coeficiente de absorción (α) se relaciona con los coeficientes de reflexión (R) y transmisión (T), obedeciendo la conservación de energía acústica y considerando que la intensidad de una onda sonora es directamente proporcional al cuadrado de la amplitud [Kinsler ,1990], por consiguiente, este coeficiente se define en la Ecuación 7.

$$\alpha = 1 - |T|^2 - |R|^2 \quad (7)$$

Después de determinar las propiedades acústicas, algunos materiales pueden ser utilizados como barreras acústicas también conocidas como barreras de sonido o pantallas acústicas, estas son estructuras o paredes que ayudan a reducir la contaminación acústica por fuentes de ruido en movimiento o estáticas, el principal objetivo de estas es absorber o reflejar la mayor cantidad de presión sonora que se dirige a un lugar en específico.

Con el propósito de determinar la respuesta acústica de un material, se hace uso del tubo de Kundt el cual es un instrumento que sirve para determinar las propiedades acústicas de diferentes materiales. Este equipo está compuesto de dos cámaras acústicas conectados por un portamuestras, el cual da continuidad al tubo, cabe resaltar que ambas cámaras deben estar elaboradas con un material liso y rígido. Los micrófonos se posicionan al interior de la pared interna para registrar las presiones de onda reflejada y transmitida por el material, para poder hacer esto se coloca el material a estudiar en el cople o porta muestras.

La respuesta al impulso es un proceso matemático lineal que se utiliza para estimar la respuesta de un sistema ante una señal de entrada y con esto determinar sus propiedades. Este método también se puede usar para obtener la huella acústica de un material, el proceso consiste en hacer incidir una señal acústica de cierta

amplitud y contenido en frecuencia, para determinar las propiedades acústicas de dicho material como lo son su capacidad de reflejar, absorber y transmitir sonido.

Los mapas de ruido son imágenes diseñadas para evaluar, cualitativa y cuantitativamente, la exposición a ruidos en ciertas zonas, estos pueden ser simulados o por muestreo.

Para obtener un mapa de ruido se debe registrar la presión acústica en diversos puntos del que se desee generar el mapeo, considerando intervalos de tiempos definidos.

Debido a que la presión acústica es el movimiento del aire o mejor dicho de las partículas que componen el aire provocado por las ondas sonoras, esta se clasifica en dos tipos, la presión sonora instantánea y la eficaz. La primera se define como la variación respecto a la presión estática que sucede en cualquier momento por la presencia de una onda sonora su definición está dada por 20 veces el logaritmo de base 10 de la relación de la presión sonora efectiva (P) de la presión sonora eficaz de referencia (P_{ref}) [Beranek,1961], Ecuación 8. Donde $P_{ref} = 20 \mu Pa$.

$$L_{PA} = 20 \log_{10} \frac{P}{P_{ref}} \quad (8)$$

Mientras que la eficaz es un valor equivalente definido como el valor cuadrático medio de la expresión de la presión sonora instantánea, sobre un intervalo de tiempo dado su expresión matemática se representa en la Ecuación 9. Donde L_{PA} es la presión sonora instantánea y T el tiempo.

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left(10^{\frac{L_{PA}}{10}} \right) dt \quad (9)$$

La presión acústica registrada por los micrófonos en diversos puntos permite crear mapas de ruido que representan la distribución del sonido en un área determinada. Estos mapas proporcionan una visualización general de la eficacia de una barrera acústica al mostrar las áreas de mayor y menor presión sonora.

En la actualidad el estudio de barreras acústicas es extenso y aborda diferentes temáticas, algunos resaltan más por el uso de barreras naturales, hechas de fibras también llamados composites de diferentes materiales, como es el caso del artículo "Experimental investigation on acoustic performance of coir fiber and rice husk

acoustic panel” realizado por M.S. Lakshmi, Subha Vishnudas y K.R Anail en el cual describe el uso de materiales fibrosos y granulares para fabricación de paneles acústicos en específico de la fibra de coco y cáscara de arroz. Esto con el fin de evaluar su efecto como barrera acústica y sustituir los materiales sintéticos utilizados actualmente como espumas de poliéster y poliuretano. Para ello, el coeficiente de absorción se determinó en un tubo de impedancia para medir la absorción de sonido a baja frecuencia y después en una sala anecoica para probar absorción acústica a alta frecuencia. Sus resultados demostraron que los paneles con una densidad de 200 kg/m^2 son efectivos en la absorción en el rango de frecuencias de 100 Hz a 5000 kHz [Lekshmi,2023].

Otra investigación de barreras acústicas es la realizada por J. Segura titulada “Acoustic and thermal properties of panels made of fruit stones waste with coconut fibre” en la que se utilizan de residuos agrícolas y agroindustriales para abordar problemas de aislamiento acústico y térmico. Se llevaron a cabo pruebas de absorción acústica y térmica en cuatro tipos de huesos de fruta: aceituna, cereza, albaricoque y durazno, además de incluir una capa de fibra de coco, las pruebas se realizaron en tubo de onda estacionaria para obtener el coeficiente de absorción acústica y la pérdida de transmisión sonora. Para la prueba térmica a fin de determinar el coeficiente de conductividad térmica se utilizó el método de la placa caliente como conclusión a nivel acústico se obtuvo que los paneles de cereza tuvieron valores de absorción cercanos a 0.7 y los de albaricoque alcanzaron valores de aislamiento sonoro de hasta 30 dB [Segura,2024].

Una investigación realizada por Killeen, Davis, Wang, Bennett, publicada en su artículo “Fan-noise reduction of data centre telecommunications’ server racks, with an acoustic metamaterial broadband, low-frequency sound-absorbing liner” en donde se pretende dar solución a un problema emergente y actual derivado de la alta demanda para almacenamiento de datos en un servidor de internet, ya que el dispositivo de almacenamiento requiere un ventilador axial como control de temperatura, a medida que la temperatura aumenta en los chips ventiladores más potentes son requeridos para un correcto funcionamiento. Esto ha generado que los centros de datos se conviertan en lugares inadecuados para trabajar ya que el ruido

supera los límites prescritos como saludables. Como solución se propuso el desarrollo de un metamaterial absorbente de sonido de membrana segmentada por sus siglas en inglés SeMSA (Segmented Membrane Sound Absorber), el cual se probó en una cámara semi anecoica montado en una plataforma giratoria, caracterizado por 16 micrófonos de $1/4$ pul Brüel & KJær campo libre distribuidos en un arco de aluminio para la toma de datos y su fuente de ruido siendo un ventilador Sanyo Denki de 94 W con 120 mm de diámetro. Sus datos fueron procesados en MATLAB para mostrar un mapa de intensidad donde se compara una pared dura y el SeMSA, siendo este último el que mejor disminuye las emisiones sonoras en general [Killeen,2023].

En el estudio de Hong y colaboradores, se llevó a cabo el desarrollo de un modelo para calcular los niveles de ruido que integra métodos tradicionales de emisión de ruido con un enfoque de regresión no lineal multivariable. Este estudio permitió reducir el tiempo de procesamiento de los datos sin comprometer la precisión del mapeo del ruido [Hong,2023]. En otra investigación desarrollada en 2023, se presentó una metodología para generar mapas de ruido en tiempo real, utilizando una red de sensores que registran los datos a intervalos de 15 minutos. Los registros se procesan mediante un modelo de emisión y propagación de ruido, generando mapas dinámicos. Este proyecto fue probado en la ciudad de Tartu, Estonia, demostrando su capacidad para evaluar en tiempo real de los niveles de ruido [Baclet, 2023]. Por otro lado, Tang y colaboradores, combinaron diferentes modelos estadísticos para generar mapas dinámicos de ruido provocados por aeronaves, registrados por sensores distribuidos en la ciudad de Taipéi en intervalos de 24 horas. Además, realizaron una validación cruzada para seleccionar el modelo de predicción más adecuado [Tang,2022].

Los mapas de ruido no solo se pueden aplicar a ciudades o zonas habitacionales, ya que también se pueden utilizar como una forma más interactiva de visualizar el comportamiento acústico de fuentes de ruido diversas. Es por esta razón que una de las herramientas más utilizadas para contrarrestar los altos niveles de ruido consiste en la implementación de barreras acústicas, las cuales su función principal consiste en reflejar o absorber los niveles de sonido en base en las propiedades

intrínsecas de los materiales. Por lo que este trabajo describe como determinar las propiedades acústicas del material y posteriormente cuantificar el efecto de una pantalla acústica ante una fuente sonora sin la necesidad de crear la barrera acústica.

2. Métodos

Para llevar a cabo la caracterización de los materiales se obtuvieron muestras de 1.49 y 1.62 *cm* de diámetro y con espesores de 2.97 y 33.77 *mm*, para acrílico y espuma de poliuretano respectivamente mostradas en la Figura 2.



Figura 2 Fotografía de muestras.

Las muestras del material de prueba se colocaron en el cople del tubo de impedancia con el objetivo de determinar sus propiedades acústicas gracias a una interfaz gráfica, la cual está basada en un proceso de comparación de las presiones de la onda reflejada y la transmitida con respecto a la incidente, de esta manera se cuantifica el coeficiente de reflexión y transmisión en función de la frecuencia, cabe resaltar que las respuestas en frecuencia son procesadas por separado para determinar la respuesta al impulso del material, la cual servirá para determinar la respuesta sonora de la pantalla acústica.

Posteriormente se realizó el arreglo experimental mostrado en la Figura 3 para estimar el mapa de ruido de una barrera acústica. Este arreglo consiste en seis micrófonos los cuales están colocados a una distancia fija de una bocina. El arreglo matricial de los micrófonos tiene una separación del suelo y entre cada uno de ellos de 8 *cm* que cubren la zona de emisión de la bocina.

Los micrófonos están conectados a un amplificador de instrumentación y a una tarjeta de adquisición la cual envía y recibe datos mediante el software llamado

“Acknowledge”, con ese propósito primero se generaron diferentes señales sinusoidales moduladas en amplitud de 50 Hz a 16 kHz separadas en escalas de octava para después unirse en una sola señal en intervalos de dos segundos, como se muestra en la Figura 4.

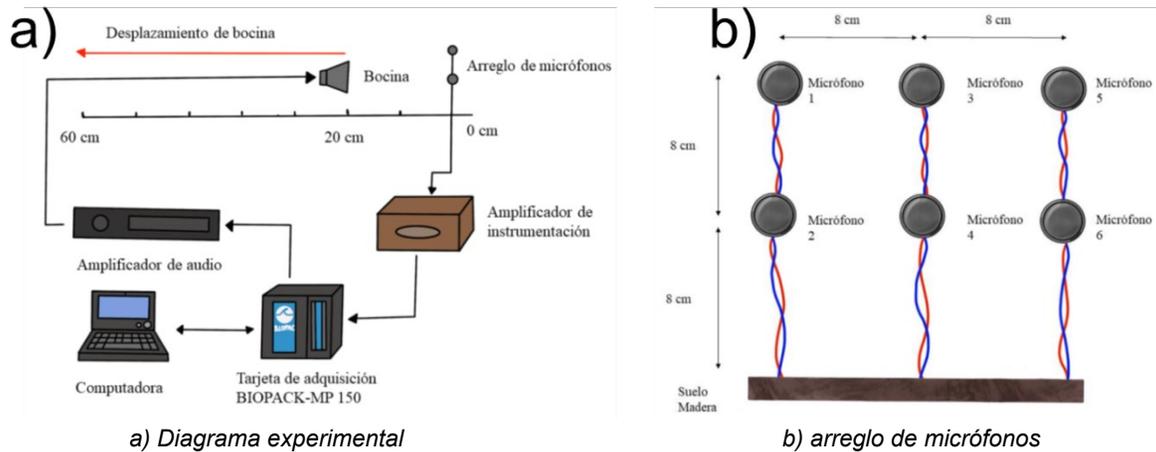
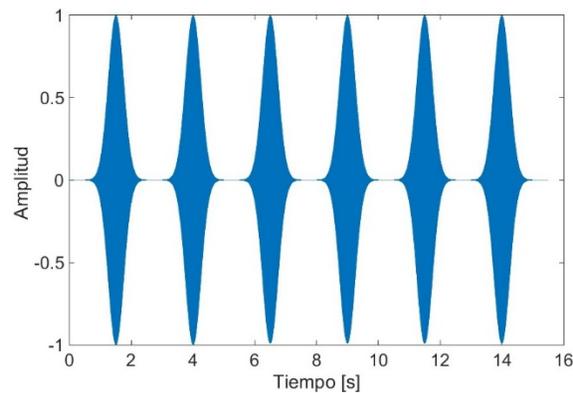


Figura 3 Diagrama experimental para la estimación del mapa de ruido.



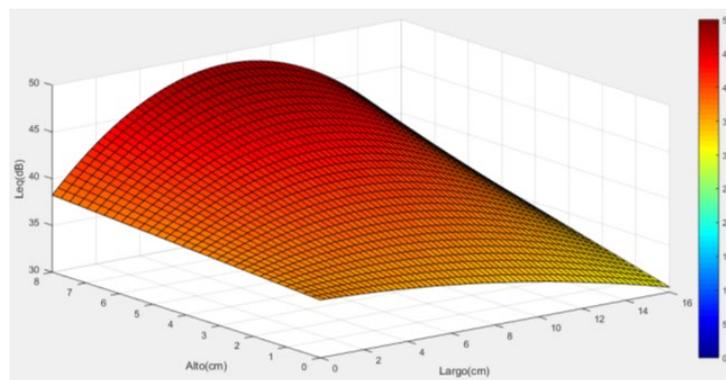
Fuente: elaboración propia

Figura 4 Tren de señales en bandas de octava de 500 Hz a 16 kHz.

Mediante la tarjeta de adquisición de datos se envía el tren de ondas sinusoidales, la cual pasa por un amplificador de audio y es reproducida por la bocina. Esta señal acústica es registrada por los seis micrófonos del arreglo matricial y almacenada en la computadora. Este proceso se realizó cinco veces desplazando la bocina desde una separación de 20 cm de los micrófonos cada 10 cm se llega hasta llegar a los 60 cm de separación.

Luego en una interfaz gráfica desarrollada en MATLAB se procesaron las señales registradas, este proceso consiste en separar las señales por frecuencia para después hacer la convolución con la respuesta al impulso que se obtuvo de la caracterización de las señales adquiridas en el tubo de impedancia.

La nueva señal generada contiene la información de respuesta acústica de la barrera ante el estímulo dado, por lo que a partir de estos datos se calcula el nivel de presión sonora equivalente (Leq), el cual se utilizó para generar el mapa de ruido, al tomar el resultado de los seis micrófonos y mediante una interpolación se estima el nivel de presión sonora equivalente en los puntos intermedios a estos y de acuerdo a una escala cromática con su valor en decibeles se le asigna un color a cada valor de ellos para después graficar en 3D. La Figura 5 corresponde al mapa de ruido teórico de la barrera acústica de acrílico. Cabe resaltar que también se realizó un mapa de ruido de la fuente de ruido con los mismos desplazamientos de bocinas.

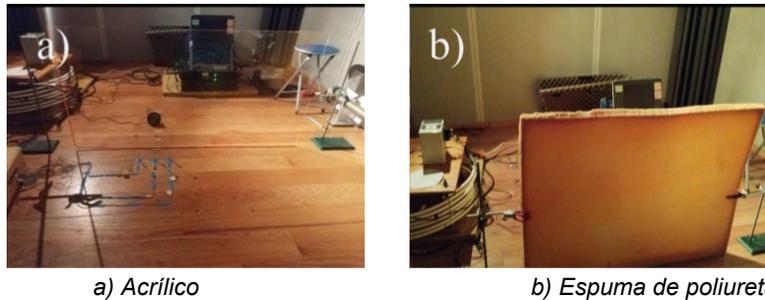


Fuente: elaboración propia

Figura 5 Vista isométrica de un mapa de ruido de barrera acústica de acrílico.

Para obtener el mapa de ruido de forma experimental, se usó la misma metodología, pero en este caso se colocó entre el arreglo de micrófonos y la bocina una pantalla acústica de acrílico y una de espuma de poliuretano de 0.29 y 3.37 *cm* de espesor respectivamente como se muestra en la Figura 6. La barrera se encontraba a 10 *cm* de los micrófonos y esta se mantenía estática con ayuda de dos pinzas de tres dedos montada en un soporte universal, después las señales obtenidas fueron procesadas obteniendo el Leq y con esta información mediante interpolación se

estimaron los valores para el mapa de ruido. Finalmente se realizó la comparación del mapa obtenido de forma teórica con el experimental.



a) Acrílico

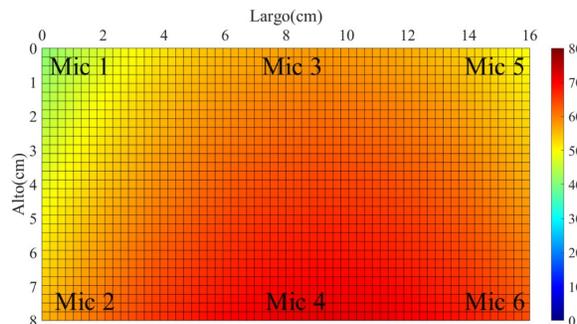
b) Espuma de poliuretano

Fuente: elaboración propia

Figura 6 Foto de la disposición de los elementos para el desarrollo experimental.

3. Resultados

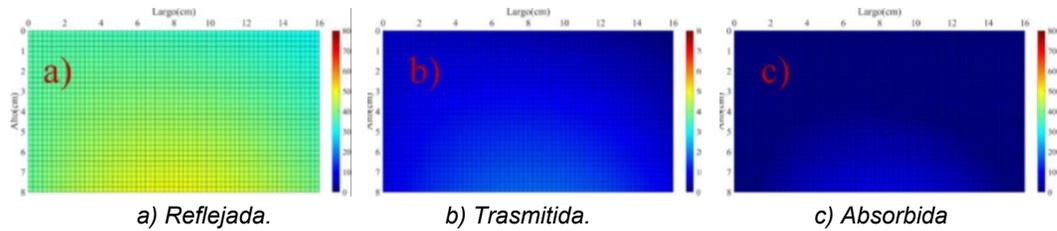
Para comprender mejor los mapas de ruido en la Figura 7, se coloca en la imagen la ubicación de los seis micrófonos utilizados. Los primeros resultados fueron realizados mediante una simulación en donde se toma la señal registrada con la fuente de ruido y la respuesta al impulso reflejada, transmitida y absorbida obtenidos gracias al tubo de impedancias.



Fuente: elaboración propia

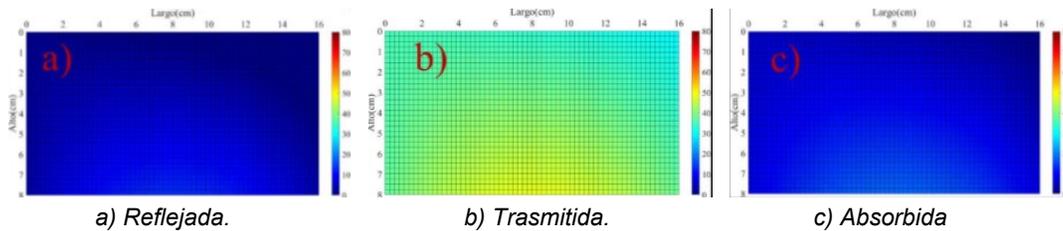
Figura 7 Distribución de micrófonos en el mapa de ruido.

En la Figura 8 muestra la estimación del mapa de ruido para la barrera de acrílico colocada a 20 cm de la fuente de ruido, para una frecuencia de 1 kHz. De izquierda a derecha se coloca el mapa de reflexión, transmisión y absorción. En la Figura 9, se puede observar la estimación del mapa de ruido para la espuma de poliuretano a 20 cm de la fuente, a una frecuencia de 1 kHz.



Fuente: elaboración propia

Figura 8 Estimación del mapa de ruido del acrílico a 20 cm con una frecuencia de 1 kHz.

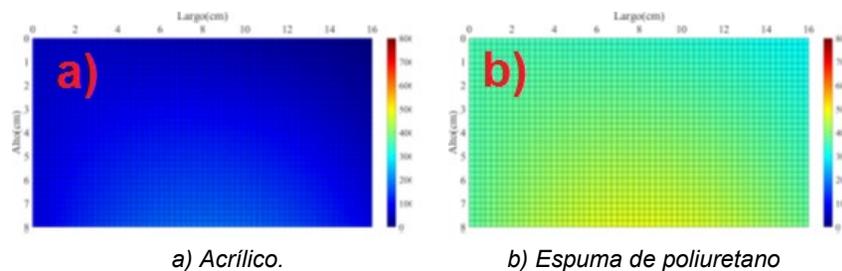


Fuente: elaboración propia

Figura 9 Estimación del mapa de ruido de la espuma 20 cm con una frecuencia de 1 kHz.

Los mapas de las Figuras 8 y 9, están directamente relacionados con el comportamiento acústico del material y la frecuencia que es analizada. Los mapas muestran una carga de colores orientada a la posición del micrófono 4 que se adjudica el hecho de que están tomados en una cámara semi anecoica, dado que el piso es de madera y este es un material reflejante, al emitir las señales estás chocan con el piso provocando un reflejo que después choca con la barra por lo que el color del centro en la parte inferior es de un mayor nivel de decibeles.

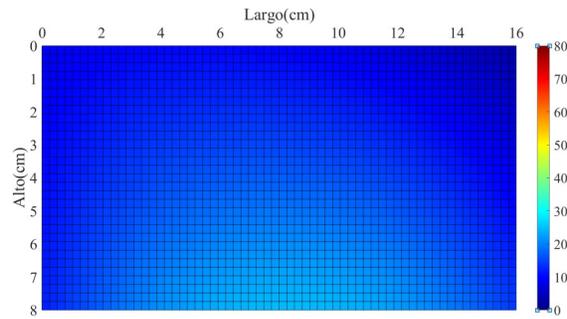
En la Figura 10 se reportan los mapas de ruido teóricos de transmisión para el acrílico y de la espuma de poliuretano colocados a 20 cm de la fuente y para una frecuencia de 1 kHz, la una escala de colores va de 0 a 80 dB.



Fuente: elaboración propia

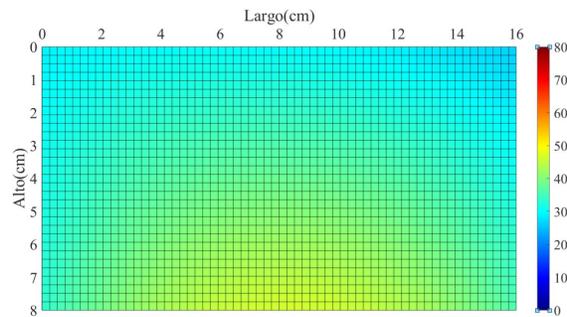
Figura 10 Estimación del mapa de ruido transmitido a 20 cm a una frecuencia de 1 kHz.

En las Figuras 11 y 12 se presentan los mapas de ruido experimentales de la barrera acústica de acrílico y poliuretano, respectivamente, con los mismos parámetros de los mapas teóricos.



Fuente: elaboración propia

Figura 11 Mapa de ruido transmitido para acrílico a 20 cm con una frecuencia de 1 kHz.



Fuente: elaboración propia

Figura 12 Mapa de ruido transmitido para espuma a 20 cm con una frecuencia de 1 kHz.

Al comparar los mapas de ruido experimental y teórico de acrílico, se muestra una gran aproximación tanto en el patrón de dispersión del sonido como en los valores en decibeles de la presión sonora equivalente, Figura 13.

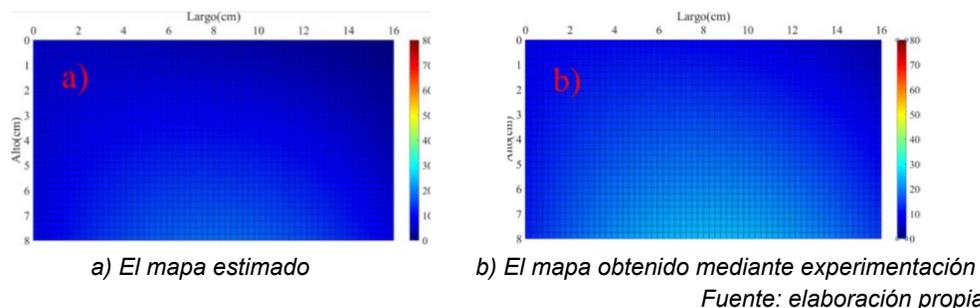
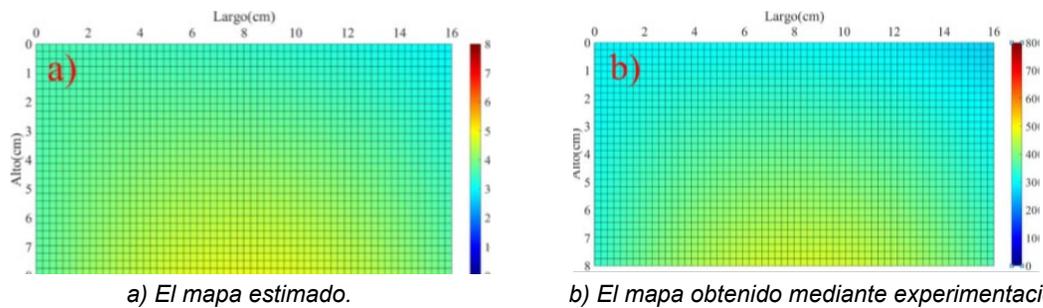


Figura 13 Mapas de ruido transmitido para acrílico a 20 cm con una frecuencia de 1 kHz.

Para el caso de la espuma de poliuretano, Figura 14, los resultados también son similares, sin embargo, los valores son más cercanos para cada punto del mapa, esto se atribuye al efecto de absorción del material, ya que, al no reflejar el sonido en los objetos del entorno, no causa alteraciones en el patrón de dispersión del mapa.



Fuente: elaboración propia

Figura 14 Mapas de ruido transmitido para espuma a 20 cm con una frecuencia de 1 kHz.

4. Discusión

Comprobando ambos mapas de ruido tanto teórico como experimental se puede determinar que su apariencia es bastante similar dados en los niveles de presión sonora equivalente como en su comportamiento, por lo que se puede estimar el mapa del material a través de su respuesta al impulso sin necesidad de tener un panel.

El efecto de absorción, reflexión y transmisión de los materiales de la barrera acústica se pueden estimar mediante la respuesta al impulso del material, sin la necesidad de crear la barrera acústica para medir su respuesta.

Los materiales con propiedades absorbentes tienden a tener una apariencia parecida entre los mapas teórico y experimental, esto es debido a que como el material no genera efectos de reflexión se evita la superposición de ondas y no se tiende a modificar el mapa de ruido.

Los mapas de ruido mostraron una carga de colores orientada a la posición del micrófono 4 que se adjudica al hecho de que el piso de la cámara semianecoica era de madera, las ondas emitidas desde la bocina chocan en el piso provocando un reflejo que se registraba en el micrófono 4.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos mostraron que el mapa teórico representa una buena aproximación de la respuesta de los paneles respecto al resultado experimental, por lo que sería correcto decir que a partir de la respuesta el impulso obtenida del tubo de impedancias es posible estimar la respuesta acústica de un panel, sin embargo, es necesario mencionar que existen diferencias entre los resultados teóricos y prácticos, estos se deben principalmente a que los resultados teóricos no consideran parámetros como la temperatura, la posición del panel y el entorno los cuales también modifican el mapa de ruido. Aun con estas ligeras diferencias es posible concluir que la metodología implementada puede ser utilizada para modelar una fuente sonora en un recinto y con ello estudiar las necesidades para acondicionar un espacio a partir de la respuesta al impulso y con ello se puede considerar a futuro la elaboración de una simulación en la cual incluya diferentes materiales que contribuyan a un confort acústico.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Baclet S., Khoshkhah K., Pourmoradnasseri M., Rumpler R. y Hadachi A. Near-real-time dynamic noise mapping and exposure assessment using calibrated microscopic traffic simulations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 124, pp. 1-20, 2023.
- [2] Beranek L. L., *Acustica*, Buenos Aires : McGraw-Hill , 1961.
- [3] Hong X., Xia D. y Zhu W., An efficient calculation method of large-region dynamic traffic noise maps based on hybrid modeling. *Environmental Pollution*, Vol. 331(2), pp. 1-9, 2023.
- [4] Killeen, J. Fan-noise reduction of data centre telecommunications server racks, with an acoustic metamaterial broadband, low-frequency sound-absorbing liner. *Applied Acoustics*, vol. 203, 2023.
- [5] Kinsler L. E., *Fundamentos de acústica*, Limusa, 1990.
- [6] Lekshmi M., Vishnudas S. y Anil K. Experimental investigation on acoustic performance of coir fiber and rice husk acoustic panels, *Applied Acoustics*, vol. 204, pp. 1-9, 2023.

- [7] PAOT, (2023). Ruido, https://paot.org.mx/micrositios/sabias_que/RUIDO/index.html.
- [8] Segura, J. Acoustic and thermal properties of panels made of fruit stones waste with. *Construction and Building Materials*, vol. 426, pp. 1-8, 2024.
- [9] Tang J. H., Lin B. C., Hwang J. S., Chen L. J., Wu B. S., Jian H. L., Lee Y. T. y Chan T. C. Dynamic modeling for noise mapping in urban areas. *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 97, pp. 1-16, 2022.