

DISEÑO Y CUANTIFICACIÓN DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO DE UNA VENTANA ACÚSTICA CON VENTILACIÓN

DESIGN AND QUANTIFICATION OF THE ACOUSTIC INSULATION OF AN ACOUSTIC WINDOW WITH VENTILATION

Aarón Manuel Salas Cortés

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México
amsc-77@hotmail.com

Dulce Rosario Ponce Patrón

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

Felipe Orduña Bustamante

Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México
felipe.orduna@icat.unam.mx

Ricardo Dorantes Escamilla

Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México
ricardo.dorantes@icat.unam.mx

Ernesto Rodrigo Vázquez Cerón

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

Laura Angélica Lancon Rivera

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

Recepción: 19/marzo/2026

Aceptación: 22/junio/2026

Resumen

Se diseñó y evaluó una ventana acústica basada en un resonador de Helmholtz con el objetivo de permitir el paso de aire sin comprometer el aislamiento sonoro. El sistema consiste en una ventana doble de $0.69 \times 0.69 \text{ m}$ con una separación de 0.05 m entre hojas, sus aperturas son proyectantes desfasadas. El diseño busca optimizar la ventilación manteniendo un alto nivel de aislamiento acústico. La evaluación experimental se realizó en la cámara de transmisión de la UNAM, donde

se midió el índice de reducción sonora, utilizando una fuente omnidireccional y micrófonos ubicados en diversos puntos. Se obtuvo un R_w de 11 dB (−1; −1) que demuestra la viabilidad del sistema como alternativa pasiva para espacios con requerimientos de ventilación y control acústico. Este estudio presenta solo los resultados de la evaluación acústica contribuyendo al desarrollo de una solución arquitectónicas que equilibra, ventilación y aislamiento sonoro.

Palabras Clave: Aislamiento sonoro, cámara de transmisión, pérdida de transmisión, resonador de Helmholtz, ventana acústica.

Abstract

An acoustic window based on a Helmholtz resonator was designed and evaluated with the aim of allowing air passage without compromising sound insulation. The system consists of a double window measuring 0.69×0.69 m with a 0.05 m gap between panes, featuring offset projecting openings. The design seeks to optimize ventilation while maintaining a high level of acoustic insulation. The experimental evaluation was conducted in the transmission chamber of the National Autonomous University of Mexico (UNAM), where the sound reduction index was measured using an omnidirectional source and microphones placed at various positions. An R_w value of 11 dB (−1; −1) was obtained, demonstrating the feasibility of the system as a passive alternative for spaces requiring both ventilation and acoustic control. This study presents only the results of the acoustic evaluation, contributing to the development of architectural solutions that balance ventilation and sound insulation.

Keywords: Acoustic window, Helmholtz resonator, sound insulation, transmission chamber, transmission loss.

1. Introducción

La reducción del ruido en entornos urbanos representa uno de los principales desafíos en el diseño de vanos en envolventes arquitectónicos. La incorporación de estos elementos implica una pérdida en el desempeño acústico de la envolvente; sin embargo, son indispensables para permitir la ventilación natural, la iluminación

natural y la interacción del usuario con el exterior. Considerando estas necesidades, especialmente en contextos donde los niveles de ruido son sumamente elevados, surge la necesidad de diseñar una ventana que permita la circulación de aire pero que, al mismo tiempo, limite la transmisión sonora del exterior hacia el interior de la edificación. El diseño de la ventana se desarrolló con el propósito de maximizar su desempeño acústico, evaluado a través del índice de reducción sonora. El principio de funcionamiento de esta ventana se basa en el resonador de Helmholtz, un dispositivo acústico utilizado para atenuar una frecuencia en específico mediante la resonancia de su volumen. El resonador de Helmholtz, también conocido como resonador de volumen, genera absorción acústica en una frecuencia específica mediante una cavidad en la que la energía sonora ingresa y se disipa por fricción del aire al entrar en resonancia dentro del volumen del resonador. Este sistema funciona con base a una geometría determinada donde un volumen de aire interacciona con una onda sonora, a una frecuencia específica, para ejercer una fuerza restauradora, similar a un amortiguador, mitigando la energía acústica y en consecuencia reduciendo el ruido [Everest, 2013]. La frecuencia fundamental (f_o) del resonador se determina a partir de la Ecuación 1, donde se considera la velocidad del sonido (C) a temperatura ambiente, el volumen (V) de la geometría, el área del cuello del resonador (S) y la longitud del cuello (L_{ef}) del resonador.

$$f_o = \frac{C}{2\pi} * \sqrt{\frac{S}{V * L_{ef}}} \quad (1)$$

Donde:

f_o : Frecuencia fundamental

C : Velocidad del sonido

S : Área de abertura del resonador

V : Volumen del resonador

L_{ef} : Longitud del cuello del resonador

En este análisis, se busca determinar la frecuencia de resonancia correspondiente a un volumen específico. Para ello, las variables de la Ecuación 1 se definen con

base en las dimensiones de un muro, el cual, desde el punto de vista constructivo, suele estar conformado por block con repellado o concreto armado también con acabado de repellado. El espesor promedio considerado es de 15 *cm*, ya que este permite obtener un volumen factible de implementar dentro de la envolvente de una edificación. El tamaño de la ventana fue determinado a partir de un vano existente donde se realizarán las mediciones, cuyas dimensiones son de 0.69 *x* 0.69 *m*. En este caso, las medidas consideradas para la ventana son: 0.69 *m* de altura, 0.69 *m* de ancho y 0.05 *m* de profundidad. La separación intermedia de la ventana se considera de paño a paño interior de ambos vidrios, ya que la construcción de la ventana parte de los perfiles, y dicha configuración se define a partir de ellos. Si se considerara la boquilla del muro como referencia, la separación sería de 0.15 *m*; sin embargo, debido a las características del perfil de aluminio, se toma como válida la dimensión de 0.05 *m*, se utilizan dos perfiles que generan una separación de 0.05 *m* entre ambos paneles (Figura 1).

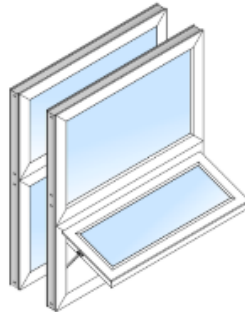


Fuente: Elaboración propia.

Figura 1 Esquema del flujo de aire a través de la ventana.

Con base en estas dimensiones, el volumen total calculado aproximado es de 0.024 *m*³. La longitud efectiva del cuello del resonador es de 0.05 *m*, a lo que se añade una corrección de 1.7 *cm*, resultando en una longitud total de 0.085 *m*. Finalmente, el tamaño de la abertura considerada es de 0.69 *m* de ancho por 0.30 *m* de altura. A partir de la Ecuación 1, se diseñó una ventana acústica de doble pared, con aberturas proyectantes que alcanzan un ángulo de apertura máximo de 45°. La hoja exterior de la ventana, orientada hacia el exterior de la edificación, está diseñada para abrirse hacia afuera y por la parte inferior, mientras que la hoja

interior, orientada hacia el interior del edificio, está diseñada para abrirse en dirección opuesta a la exterior, como se observa en la Figura 2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2 Diseño de ventana.

Se consideran cuatro configuraciones posibles de abertura en la ventana proyectante para el cálculo del resonador de Helmholtz: con ambas ventanas totalmente abiertas, con una abierta, con ambas abiertas a 45° y con una abierta a 45° . Esto se debe a que una de las variables en la Ecuación 1 es el valor S , que representa el área de la abertura del resonador. Por consiguiente, se modifica el valor de S y, en consecuencia, producirán cuatro resultados distintos, dependiendo de la forma en que se abrirá la ventana. Esto permite determinar cuál configuración es más conveniente utilizar según las necesidades específicas. Cada configuración presenta un área de abertura diferente en metros cuadrados, dependiendo de su grado de abertura. Este valor corresponde a la variable S de la Ecuación 1, lo cual provoca que la frecuencia de resonancia varíe según la geometría de abertura adoptada en cada caso. Las configuraciones evaluadas se presentan en la Figura 3, que muestra una vista lateral de los volúmenes. El área azul corresponde a la abertura (S), mientras que el volumen total se representa en gris.

La Tabla 1 muestra las frecuencias fundamentales obtenidas mediante la Ecuación 1 ocupando las variables según sea su abertura para cada configuración. Específicamente, se muestra la frecuencia de resonancia estimada en la que cada configuración resulta más efectiva, en función del área abierta correspondiente.

Según el área de abertura en cada configuración, calculadas a partir de la Ecuación 1 indican la frecuencia específica en la que el sistema funcionará. De esta manera,

el sistema resonará y la energía sonora se disipará por fricción, atenuando dicha frecuencia. Esta teoría establece que el resonador será más efectivo en la reducción del sonido precisamente en la frecuencia para la cual ha sido dimensionado, en función del área abierta. En este análisis, la frecuencia más baja obtenida fue de 664 Hz , correspondiente a una ventana totalmente abierta, mientras que la frecuencia más alta fue de 1098 Hz , cuando ambas hojas de la ventana se encuentran abiertas a 45° . Estos resultados demuestran las frecuencias únicas que se podrán mitigar a partir de un resonador de Helmholtz dependiendo de la abertura.

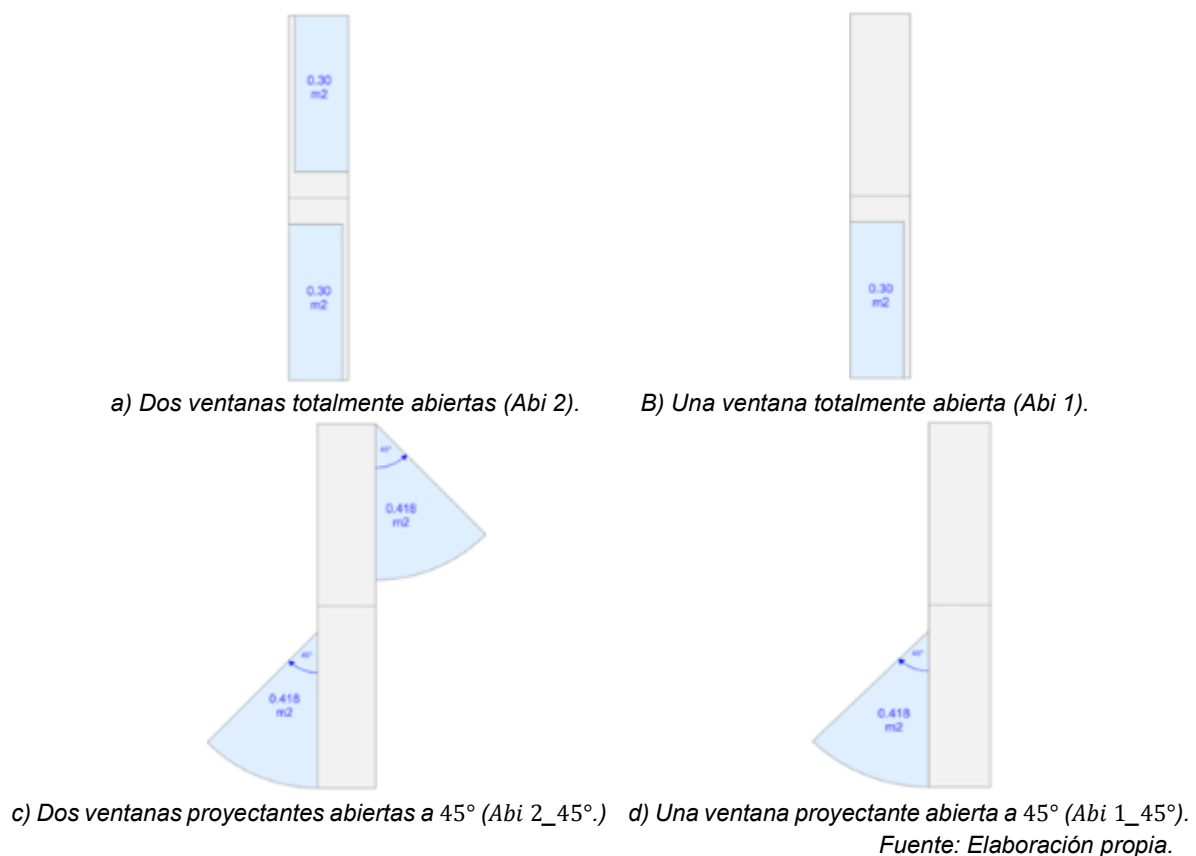


Figura 3 Esquema del flujo de aire a través de la ventana.

Cabe destacar que, a partir de este punto, solo se presentan los resultados correspondientes a la ventana *Abi_2_45°*, ya que las demás configuraciones se calcularon únicamente con la finalidad de llevar a un diseño de abertura acorde a una frecuencia específica. El siguiente procedimiento es la fabricación de la ventana conforme a las especificaciones previamente descritas, utilizando materiales

convencionales comúnmente empleados en la construcción de ventanas en México. Esto con el objetivo de que, al momento de construirse, la ventana sea viable para su implementación en fachadas y que su costo sea proporcional al de una ventana estándar.

Tabla 1 Resultados ventana Helmholtz $0.69 \times 0.69 \text{ m}$.

Configuración	Valor f_0	Unidad
<i>Abi_2</i>	940	<i>Hertz</i>
<i>Abi_1</i>	664	<i>Hertz</i>
<i>Abi_2_45°</i>	1098	<i>Hertz</i>
<i>Abi_1_45°</i>	777	<i>Hertz</i>

Fuente: Elaboración propia.

La fabricación del sistema se realizó comenzando con un perfil de aluminio de 2" de la línea española 1400, lo cual permitió mantener un costo competitivo en comparación con una ventana convencional. Se incorporaron sellos de goma en las juntas y cierres, así como compases de apertura que limitan la inclinación a 45° , garantizando la funcionalidad sin generar sobrecostos. El acristalamiento está compuesto por dos paneles de vidrio de diferente espesor, de 6 y 9 mm respectivamente, con el objetivo de evitar fenómenos de resonancia por coincidencia entre ambas hojas como se observa en la Figura 4.



Fuente: Elaboración propia.

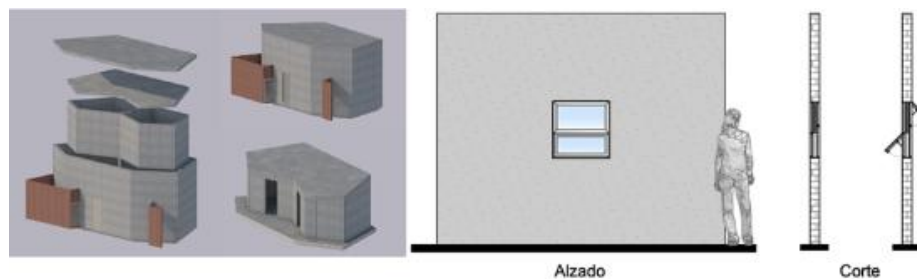
Figura 4 Vista en corte del sistema de ventana.

Finalmente, la validación del sistema se llevó a cabo dentro de una cámara de transmisión, lo que permitió generar condiciones controladas para el análisis acústico del prototipo. La ventana fue instalada en un vano de $0.69 \times 0.69 \text{ m}$ en el muro divisor central de la cámara, y se sometió a mediciones con el propósito de

cuantificar el índice de reducción sonora en tercias de octavas que van desde los 100 hasta los 5000 *Hertz*. Este artículo presenta el proceso completo de diseño, fabricación y validación del sistema propuesto, integrando criterios de aislamiento acústico sin comprometer la ventilación natural, aunque solo se evaluara el índice de reducción sonoro.

2. Métodos

La medición del índice de reducción sonora se realizó en la cámara de transmisión del Laboratorio de Acústica y Vibraciones del ICAT (Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología) de la Universidad Nacional Autónoma de México. Esta cámara se encuentra acústica y estructuralmente aislada del entorno, ya que está instalada dentro de una segunda cámara envolvente diseñada para minimizar la transmisión de ruido externo. El sistema cuenta con dos salas: una emisora y una receptora, que comparten un muro divisorio en el cual se coloca la muestra. Este muro está desacoplado para evitar la transmisión por flancos (Figura 5).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5 Cámara de Transmisión UNAM.

La cámara de transmisión está equipada con una fuente sonora omnidireccional de la marca Brüel & Kjær (B&K), ubicada en la cámara emisora que su función es emitir ruido rosa. Para la captura de señales acústicas, se utilizaron dos micrófonos de la misma marca: uno posicionado en la cámara emisora y otro en la cámara receptora, ambos conectados a amplificadores que transmiten la señal a una cabina de control adyacente con el propósito de obtener una diferencia de niveles. Los micrófonos están montados sobre un sistema de rotación (“boom rebatinga”), el cual consiste en una base giratoria que realiza un giro de 360° sobre su eje con una inclinación

de 10° , permitiendo un barrido completo del campo sonoro. El tiempo de rotación del sistema es de 32 s. La cámara también incorpora materiales absorbentes y resonadores acústicos diseñados para controlar el tiempo de reverberación, en cumplimiento con los requerimientos establecidos por la norma ISO 10140-4 [ISO 10140-2:2021, 2021]. Esta norma indica que, para una evaluación adecuada de la pérdida de transmisión sonora, los niveles de reverberación deben estar dentro de rangos específicos: superiores a un segundo, pero no mayores a 2.46 s en la cámara receptora ni a 2.68 s en la cámara emisora en todos los espectros de frecuencia. El cual fue medido en ambas cámaras antes de cada medición. Además, se utilizó un termohigrómetro para registrar con precisión tres variables ambientales: temperatura, humedad relativa y presión atmosférica. Esto es fundamental, ya que cualquier variación significativa en estas condiciones entre el inicio y el final de la medición puede invalidar los resultados obtenidos ya que la velocidad del sonido depende de la temperatura ambiente, todo esto se observa en la Figura 6.

Una vez definido el diseño de la ventana, se procedió a su instalación. Esta se colocó en el muro intermedio de la cámara, construido con block y recubierto con aplanado de mortero. Este muro cuenta con un sistema de aislamiento mediante neopreno colocado en cada una de sus juntas constructivas, con el fin de minimizar la transmisión estructural del sonido (Figura 7).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6 Instrumentos cámara de transmisión.

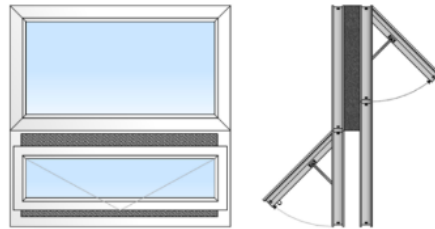


Fuente: Elaboración propia.

Figura 7 Instalación de ventana.

De igual forma, se incorporó material absorbente entre los marcos de ambas hojas de la ventana que se podrá quitar y poner, con el objetivo de evaluar si su inclusión genera alguna variación en la pérdida de transmisión sonora. Una vez instalada en

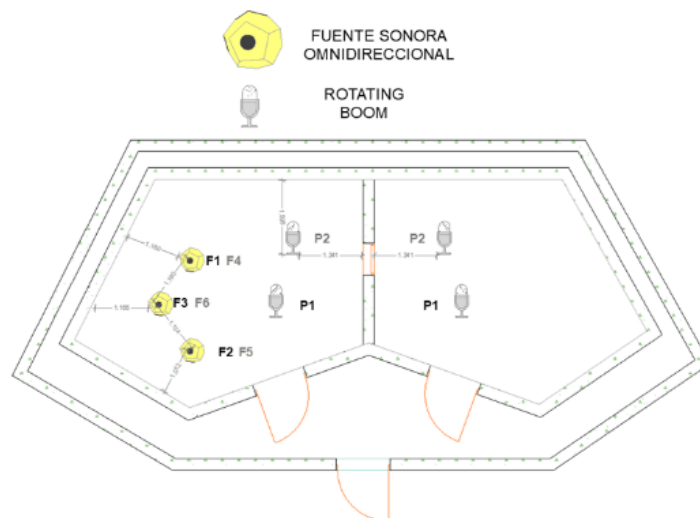
la cámara de transmisión, se procedió a realizar las mediciones. En este caso, la ventana fue evaluada bajo la configuración de ambas hojas proyectantes abiertas, con y sin el material absorbente (Figura 8).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8 Configuraciones de la ventana *Abi_2*.

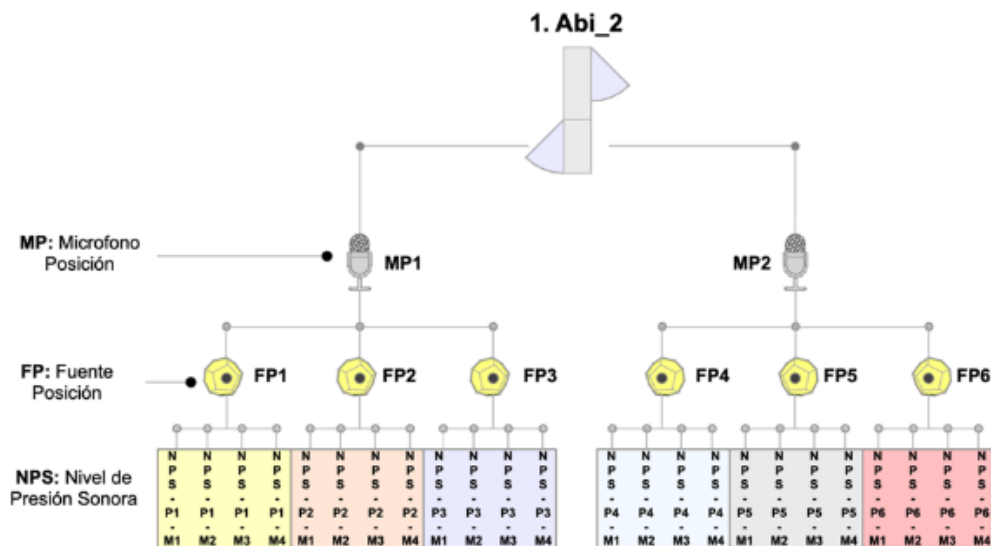
La medición se realizó para la configuración previamente descrita, en dos días distintos. La metodología consistió en posicionar inicialmente los micrófonos, tanto en la cámara emisora como en la receptora en una ubicación fija, y, a partir de esta, colocar la fuente sonora en tres posiciones diferentes dentro de la cámara emisora. Posteriormente, los micrófonos fueron reubicados a una segunda posición, repitiendo nuevamente las mediciones con la fuente en las mismas tres posiciones anteriores, es importante mencionar que cuando se cambia la posición del micrófono de la cámara fuente, se cambia así mismo el de la cámara receptora. Este procedimiento generó seis combinaciones de medición por configuración (Figura 9).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9 Posicionamiento fuente y micrófonos.

Cada medición fue repetida cuatro veces por posición, con el fin de obtener un mayor número de datos y asegurar una mayor veracidad y consistencia en los resultados, esto se ejemplifica en la Figura 10, donde *MP1* y *MP2* corresponden a las dos posiciones de los micrófonos y *FP1* – *FP6* las seis posiciones de la fuente correspondiente a cada posición del micrófono según su caso.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10 Mediciones por configuración de ventana.

Esto implica que para la medición de esta configuración se realizaron un total de 48 mediciones con material absorbente y 48 mediciones sin material absorbente resultado de seis posiciones por cuatro mediciones durante dos días. Los resultados de cada medición fueron obtenidos en bandas de tercio de octava, en un rango de frecuencia que va de 100 a 5000 *Hz.*, Las bandas de tercio de octava son divisiones del espectro de frecuencias en las que cada banda tiene un ancho igual [Kuttruff, 2007]. Se utilizan para analizar el sonido con mayor detalle que las bandas de octava completa, permitiendo identificar con precisión cómo varía la energía sonora en diferentes rangos de frecuencia. En cada medición se registraron los niveles de presión sonora (en decibeles) tanto en la cámara emisora como en la receptora, con el objetivo de calcular la pérdida de transmisión sonora del sistema constructivo medido. Asimismo, se registraron las variables ambientales durante la medición: la temperatura se mantuvo constante en 23 °C, la humedad relativa fue del 59%, y la

presión atmosférica se mantuvo en 774 Pa, tanto al inicio como al final del experimento.

Para la interpretación de los datos, la norma UNE-EN ISO 16283-1 [ISO 16283-1, 2014] establece tres ecuaciones fundamentales que permiten obtener resultados confiables. La Ecuación 2 se emplea para el cálculo del nivel de presión sonora promediado energéticamente; la Ecuación 3 permite determinar la diferencia de niveles entre la cámara emisora y la cámara receptora; y la Ecuación 4 aplica una corrección considerando el tiempo de reverberación, el cual fue medido previamente antes de evaluar cada configuración. Ecuación de promedio energético en cada cámara, emisora y receptora.

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{10^{L1/10} + 10^{L2/10} + 10^{L3/10}}{n} \right) \quad (2)$$

Donde:

L : Promedio energético.

n : Número de promedios.

$$D = L1 - L2 \quad (3)$$

Donde:

$L1$: Nivel de presión acústica promediado energéticamente en la cámara emisora.

$L2$: Nivel de presión acústica promediado energéticamente en la cámara receptora.

$$DnT = D + 10 \log_{10} \frac{S}{A} \quad (4)$$

Donde:

S : Superficie de muestra de ensayo en m^2 .

A : Área equivalente de absorción sonora en cámara receptora en m^2 .

Estas ecuaciones deben aplicarse a la configuración medida. Primero, se calcula el promedio energético (Ecuación 2) a partir de las cuatro mediciones en cada posición previamente descrita. Luego, se promedian las seis posiciones de medición, y posteriormente se realiza un promedio entre los dos días de registro, tanto en la

cámara emisora como en la cámara receptora. A continuación, se utiliza la segunda fórmula (Ecuación 3) para obtener la diferencia de niveles, y finalmente se aplica la fórmula de diferencia de niveles estandarizada (Ecuación 4), incorporando el tiempo de reverberación correspondiente a cada configuración, el cual fue medido previamente.

Los resultados obtenidos corresponden al índice de reducción sonora del sistema constructivo en su totalidad, lo cual incluye tanto el muro como la ventana. No obstante, con el fin de analizar el desempeño acústico específico de la ventana, resulta pertinente determinar el índice de reducción sonora atribuible exclusivamente a la ventana, excluyendo la contribución del muro. Para alcanzar este objetivo, se recurrió al procedimiento descrito por Díaz [2008], el cual permite disociar los efectos acústicos de los diferentes elementos que conforman un sistema compuesto. Dicho procedimiento se basa en la aplicación de la Ecuación 5, que considera las superficies relativas de los componentes y su nivel de aislamiento acústico individual.

$$R_v = -10 \log_{10} \left(\frac{\left(10^{\left(\frac{R_{vm}}{10} \right)} * (A_m + A_v) - (A_m * 10^{\left(\frac{R_m}{10} \right)}) \right)}{A_v} \right) \quad (5)$$

Donde:

R_{vm} : Índice de reducción sonora muro/ventana.

R_m : Índice de reducción sonora muro.

A_m : Área muro.

A_v : Área ventana.

Con esta ecuación se obtiene el índice de reducción sonora excluyendo el muro, arrojando únicamente los resultados correspondientes a la ventana.

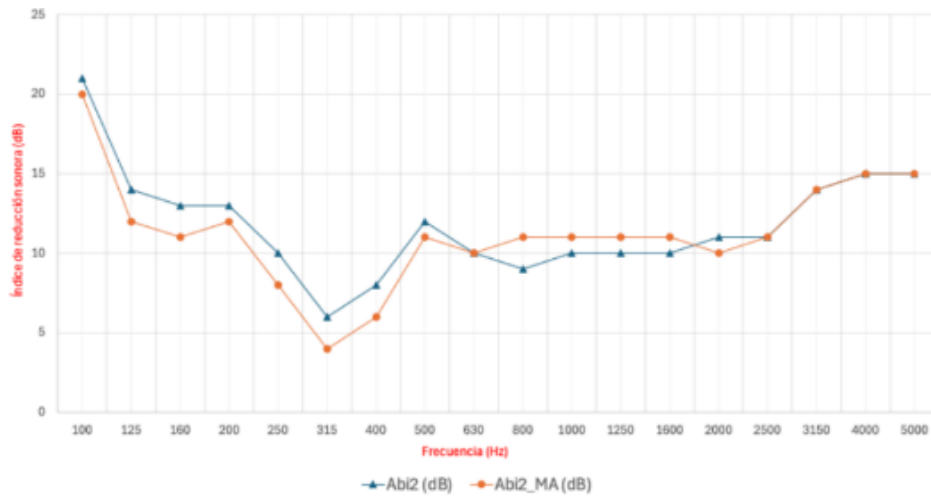
El último paso consiste en determinar R_w , que es el índice de reducción sonora ponderado frente al ruido aéreo. Para ello, se utiliza la norma ISO 717-1 [ISO 717-1, 2013]. Esta norma aplica una curva de referencia que sirve como base para evaluar el desempeño del sistema medido, además de establecer una serie de reglas para calcular este valor global.

Una vez obtenido el valor de R_w , es necesario determinar también los valores de C y C_{tr} . El valor C representa el comportamiento del sistema frente al ruido rosa, mientras que C_{tr} indica su respuesta ante ruido con predominancia de bajas frecuencias. Estos valores se calculan mediante la Ecuación 6, con apoyo de tablas específicas incluidas en la norma ISO 717-1. Donde $X_{A,1}$ es el resultado de la suma de cada frecuencia en tercios de octava. Se obtiene de la resta entre L_i (espectro 1), que es una tabla de valores establecida en la norma para cada frecuencia en tercios de octava. Primero se realiza la suma por frecuencia, después, se suman todas las frecuencias y, finalmente, al resultado de esa suma se aplica la expresión $10 * \log_{10}$. X_w es el índice de reducción sonora ponderado del sistema.

$$C = X_{A,1} - X_w \quad (6)$$

3. Resultados

A través de toda esta metodología se obtuvieron los resultados del índice de reducción sonora de la configuración evaluada con y sin material absorbente, considerando únicamente la ventana como elemento aislado. Se presenta en la Figura 11 una gráfica comparativa que muestra el índice de reducción sonora de la configuración con ($Abi2_MA$) y sin material absorbente ($Abi2$), permitiendo identificar las diferencias en el desempeño de aislamiento según la presencia del material, mostrando que la ventana con material absorbente presenta menor efectividad. La frecuencia con el mayor índice de reducción es la de 100 Hz , mientras que la de menor reducción corresponde a 315 Hz . En la Tabla 2 se presentan los valores de R_w junto con los ajustes espectrales C y C_{tr} para la configuración con y sin material absorbente. La etiqueta $Abi2_MA$ corresponde a la ventana con material absorbente, mientras que $Abis$ representa la configuración sin material absorbente. Estos valores representan el índice de reducción sonora ponderado de la ventana. Esto significa que la ventana aísla 11 dB frente al ruido aéreo, y ante frecuencias bajas, como el ruido del tráfico vehicular (representadas por el valor $C = -1\text{ dB}$), presenta un comportamiento similar. Del mismo modo, para las frecuencias medias, asociadas al ruido del habla, la ventana ofrece una atenuación de 10 dB .



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11 Comparación *Abi2* - índice de reducción sonora.

Tabla 2 *Rw* ventana configuración *Abi2*.

Índice <i>Rw(C; Ctr)</i> 4 Configuraciones – Ventana sin Material Absorbente		
<i>Abi2_MA</i> (dB)	<i>Rw(C; Ctr)</i>	11(−1; −1)
<i>Abi2</i> (dB)	<i>Rw(C; Ctr)</i>	11(−1; −1)

Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión

Con base en la metodología establecida y el diseño de la ventana, calculada según los principios del resonador de Helmholtz, los resultados obtenidos permiten analizar el índice de reducción sonora por bandas de tercio de octava. Como se observa en la Figura 11, en la frecuencia de 100 *Hz* que es la más baja medida, se alcanzó una reducción sonora de 21 *dB* con la configuración sin material absorbente, lo cual representa un desempeño notable para esa banda ya que la ventana se encuentra con las dos ventanas abatibles proyectantes abiertas. En 125 *Hz*, la reducción fue de 14 *dB*. A 315 *Hz* se observa la reducción sonora más baja del sistema, con apenas 6 *dB*, lo que indica una menor eficiencia en esa banda. Sin embargo, el índice de reducción vuelve a incrementarse a un valor de 12 *dB* en 500 *Hz* y se estabiliza en 15 *dB* entre 1000 *Hz* y 1600 *Hz*. Finalmente, en 5000 *Hz* el sistema muestra una mejora, con un índice de reducción sonora de 15 *dB*.

Estos resultados confirman que la configuración de doble ventana proyectante presenta un desempeño acústico efectivo, particularmente en rangos bajos y altos

de frecuencia. No obstante, también se observó que la incorporación del material absorbente dentro de la cavidad no mejora el aislamiento. De hecho, como se muestra en la Figura 11, su presencia reduce ligeramente el índice de reducción.

5. Conclusiones

El diseño de la ventana basado en la geometría de resonadores de Helmholtz demuestra ser una estrategia en el aislamiento acústico. La configuración evaluada alcanza valores de reducción sonora competitivos en la mayoría de las bandas, especialmente en frecuencias bajas y altas alcanzando un $R_w(C; C_{tr})$ de 11 (-1; -1). La frecuencia para la cual está diseñada, de acuerdo con su abertura, está dentro la banda de los 1000 Hz, con un índice de reducción de 10 dB. A partir de este valor, su desempeño comienza a decaer. Además, se concluye que el uso de material absorbente colocado a lo largo del marco no aporta mejoras al desempeño acústico, siendo incluso contraproducente en esta aplicación específica ya que su inclusión requiere mayor costo monetario.

Desde un enfoque arquitectónico, esta solución es viable, ya que, en entornos con altos niveles de contaminación acústica, puede permitir una reducción del ruido hacia el interior de las edificaciones, como se muestra en los resultados, alcanzando una atenuación de hasta 15 dB estando completamente abierta. Su construcción emplea materiales convencionales, como aluminio y vidrio, sin implicar un incremento significativo en los costos. Además, su instalación es sencilla y no requiere modificaciones complejas en los sistemas constructivos. Gracias a estas características, esta ventana puede implementarse fácilmente en edificaciones.

6. Referencias y Bibliografía

- [1] Alton Everest F. & Ken C. Pohlman, Handbook of Sound Studio Construction, 2013.
- [2] Díaz Pedrero N., Acústica Arquitectónica, 2008.
- [3] ISO 10140-2:2021, (2021). Acústica — Medición en Laboratorio del Aislamiento Acústico de los Elementos de Construcción - Parte 2: Medición de Aislamiento Sonido Aéreo.

- [4] ISO 16283-1, (2014). Acústica - Medición in situ del aislamiento acústico en edificios y elementos de construcción, Parte 1: Aislamiento acústico aéreo.
- [5] ISO 717 – 1:2013, (2013). Evaluación del Aislamiento Acústico en Edificios y Elementos de Construcción - Aislamiento al Ruido Aéreo.
- [6] Kuttruff, H., *Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications*, 2007.