

Diseño y construcción de un tubo de medición acústica de bajo costo para evaluación de materiales: metodología y validación estructural

Design and construction of a low-cost acoustic measurement tube for material evaluation: methodology and structural validation

Nancy Piedad Rodríguez Sánchez¹, Galo Marcelo Tapia Estrella², Giovanni Javier Hidalgo Castro³

DOI: <https://doi.org/10.61236/ciya.v10i1.1229>

RESUMEN:

Este trabajo describe el diseño y construcción de un tubo de medición acústica, también conocido como tubo de impedancia acústica, con el propósito de que sirva para evaluar el comportamiento de materiales alternativos en la absorción del sonido. Se presenta el proceso de fabricación, selección de materiales y la configuración del sistema de medición. Aunque las mediciones aún no se han realizado, se establecen los parámetros necesarios para futuras pruebas experimentales.

Palabras claves: Impedancia acústica, absorción sonora, medición acústica

ABSTRACT:

This paper describes the design and construction of an acoustic impedance measurement tube, also known as an acoustic impedance measurement tube, intended to evaluate the sound absorption behavior of alternative materials. The manufacturing process, material selection, and measurement system configuration are presented. Although measurements have not yet been performed, the necessary parameters for future experimental testing are established.

Keywords: Acoustic impedance, sound absorption, acoustic measurement.

Recibido: 10 de julio de 2025; **revisión aceptada:** 12 de octubre de 2025.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la absorción sonora de materiales alternativos es fundamental para su aplicación en la industria y la ingeniería acústica, especialmente ante la creciente preocupación por la contaminación acústica en entornos urbanos e industriales [1], [2]. El tubo de impedancia es una herramienta ampliamente utilizada para caracterizar el coeficiente de absorción de diferentes materiales, siguiendo normativas internacionales como ISO 10534-2 y ASTM E1050, lo que permite obtener mediciones precisas y comparables [3]. En este contexto, la construcción

¹ Instituto Superior Tecnológico Tungurahua, Ambato, Tungurahua, Ecuador, nrodriguez.istt@gmail.com

² Instituto Superior Tecnológico Tungurahua, Ambato, Tungurahua, Ecuador, g.tapia.istt@gmail.com

³ Empresa Bioalimentar, Ambato, Tungurahua, Ecuador, giovanni.hidalgo@bioalimentar.com

adecuada del equipo es esencial para garantizar la fiabilidad de los resultados y su compatibilidad con futuras mediciones [3].

La contaminación acústica representa un problema ambiental relevante a nivel global, ya que los niveles de ruido en ciudades y zonas industriales suelen superar los límites recomendados, generando efectos adversos sobre la salud humana, como trastornos del sueño, estrés y pérdida auditiva [2]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que la exposición al ruido ambiental no exceda los 55 decibelios durante el día para prevenir estos efectos [2]. Por ello, la búsqueda de materiales alternativos y sostenibles para la absorción sonora es una línea de investigación importante, destacando el uso de fibras naturales, residuos industriales y materiales ecológicos que ofrecen soluciones eficientes y respetuosas con el medio ambiente [1], [4], [2], [3].

El crecimiento urbano y el aumento del tráfico vehicular han generado preocupaciones sobre la contaminación sonora y sus efectos en la calidad de vida. Estudios recientes han demostrado que los niveles de presión sonora en áreas de alto tránsito pueden superar los límites recomendados, afectando la salud y el bienestar de la población [5].

En este contexto, la evaluación de materiales con propiedades acústicas adecuadas se vuelve fundamental para mitigar el impacto del ruido. Entre las estrategias más utilizadas para el control acústico se encuentran los materiales de aislamiento, como espumas de poliuretano, lana de roca y paneles multicapa. Si bien estos materiales son efectivos para reducir la transmisión del sonido, presentan limitaciones importantes: su costo suele ser elevado, su producción puede tener un alto impacto ambiental y, en muchos casos, son importados, lo que incrementa su precio y dificulta su acceso en regiones con recursos limitados [6].

Uno de los principales desafíos en la investigación y desarrollo de nuevos materiales acústicos es la necesidad de equipos especializados para evaluar su comportamiento frente a ondas sonoras. El tubo de impedancia acústica es una herramienta esencial para determinar coeficientes de absorción sonora bajo normativas internacionales como la ISO 10534-2. Sin embargo, los equipos comerciales suelen superar los 5000 dólares, restringiendo su acceso en laboratorios académicos o de investigación en países en desarrollo [6], [7].

Esta brecha tecnológica representa un obstáculo significativo para el avance de investigaciones locales en aislamiento acústico. Por ello, es necesario desarrollar prototipos de bajo costo que permitan democratizar el acceso a estas tecnologías, facilitando tanto la formación académica como la generación de conocimiento aplicado en contextos con recursos limitados [6], [8].

En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo diseñar y construir un tubo de impedancia acústica de bajo costo, empleando materiales accesibles como PVC y micrófonos económicos, manteniendo una funcionalidad alineada con los estándares de la norma ISO 10534-2. El alcance del proyecto se centra en el diseño, construcción y validación estructural del equipo, sin incluir aún pruebas con materiales acústicos específicos [6].

El desarrollo de este prototipo ofrece una guía replicable para instituciones educativas y centros de investigación con recursos limitados, sentando las bases para futuras investigaciones orientadas al análisis de materiales alternativos y sostenibles. Además, representa una propuesta innovadora que busca equilibrar el bajo costo con un nivel aceptable de precisión técnica, fomentando así la autonomía tecnológica en el área de la acústica aplicada [6], [8].

Objetivo

Construcción de un tubo de impedancia acústica de bajo costo para evaluación de materiales

2. METODOLOGÍA

2.1. Diseño del tubo de medición acústica

Se establecen las dimensiones óptimas del tubo con base en estudios previos. Diversos estudios y proyectos han abordado la determinación de dimensiones óptimas para tubos de impedancia, considerando factores como el rango de frecuencias de operación, la precisión de la medición y la facilidad de construcción.

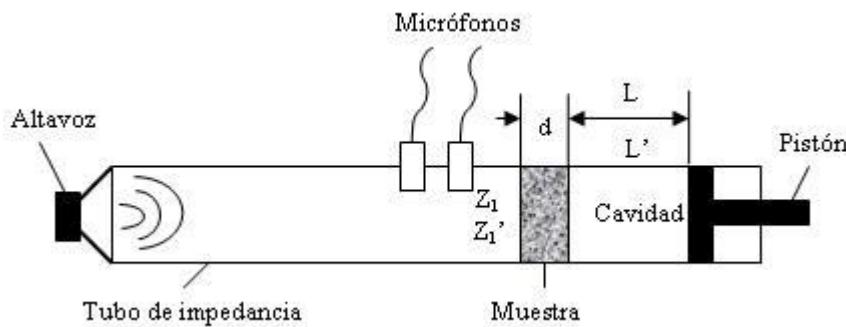


Figura 1. Esquema de disposición de tubo de medición acústica [9].

2.1.1. Dimensiones recomendadas

La elección de las dimensiones depende del rango de frecuencias deseado: tubos más largos y de mayor diámetro permiten medir frecuencias más bajas, mientras que tubos más cortos y estrechos son adecuados para frecuencias más altas [11] [13].

El tamaño de la muestra debe ser ligeramente menor que el diámetro interno del tubo para evitar resonancias del marco y fugas de aire [12].

El material del tubo puede variar, pero se recomienda un material rígido para evitar pérdidas acústicas [10] [14].

De acuerdo con la literatura analizada se establece como datos principales de dimensionamiento del tubo de medición acústica lo siguiente:

Tabla 1. Valores típicos de las dimensiones de tubo de impedancia.

PARÁMETRO	VALOR TÍPICO / EJEMPLO	REFERENCIA
Diámetro interno (D)	3 pulgadas (76.2 mm)	[10]
Espesor de pared	0.5 pulgadas (12.7 mm)	[10]
Longitud total (L)	Determinada por el rango de frecuencias (ej. 1 m aprox.)	[11]
Distancia entre micrófonos (d)	2.7 pulgadas (68.6 mm)	[10]
Rango de frecuencias	50 Hz – 2637.77 Hz	[10]
Tamaño de muestra	0.5 a 1 mm menor que el diámetro interno del tubo	[12]

2.2. Construcción del equipo

El tubo fue cortado a la longitud deseada de 1,20 m utilizando una amoladora angular, y los bordes fueron desbarbados para evitar accidentes o alteraciones acústicas. Se realizaron marcas en uno de los extremos para el montaje del altavoz, así como en el cuerpo del tubo para la ubicación de los sensores, respetando una separación de estos.

Se eliminan residuos de soldadura con una amoladora y se pulen las superficies internas para reducir las reflexiones acústicas irregulares. La hermeticidad puede ser verificada mediante pruebas con humo y solución jabonosa, y en caso de detectar fugas, se realizan correcciones con soldadura adicional, garantizando que no haya afectación a la hermeticidad.

Se implementan sujetaciones para los sensores acústicos en este caso el sonómetro HY1361 que puede usarse en el tubo de impedancia acústica porque cumple con características para la medición de niveles de presión sonora en un sistema de ondas estacionarias [15].

2.2.1 Característica del equipo de medición

El sonómetro HY1361 tiene un rango de 30 a 130 dB, lo que es suficiente para capturar los niveles de presión sonora generados dentro del tubo cuando se emite un tono puro o ruido blanco. Los tubos de impedancia trabajan con fuentes de sonido controladas, y este rango es compatible con mediciones acústicas precisas.

La exactitud en las mediciones, con una precisión de ± 1.5 dB, el sonómetro garantiza mediciones confiables dentro del tubo. Para estudios de impedancia acústica, es importante contar con un equipo que minimice errores en la captura de datos. Además de que cuenta con el software de adquisición de datos y los exporta en formatos compatibles de lectura.

El medidor cuenta con ponderaciones A y C, que permiten ajustar la captura del sonido según la sensibilidad del oído humano. En estudios acústicos, la ponderación C es útil para medir ruidos de impacto y reflejos dentro del tubo, proporcionando datos más fieles sobre la absorción y reflexión de los materiales analizados. El dispositivo ofrece opciones de respuesta rápida (125 ms) y lenta (1 s), lo que facilita la captura de variaciones en la presión sonora dentro del tubo de impedancia, especialmente cuando se realizan barridos de frecuencia o se analiza el comportamiento de materiales en distintos rangos sonoros.

Para garantizar mediciones precisas, el sonómetro puede calibrarse con un calibrador acústico externo de 94 dB. Esto es esencial al utilizarlo en el tubo de impedancia, ya que permite corregir cualquier desviación en los valores de presión sonora capturados. Su tamaño compacto (23 x 7 x 3.5 cm, peso de 230 g) facilita su integración en el sistema de medición, permitiendo colocarlo en posiciones estratégicas dentro del tubo para evaluar la onda estacionaria y calcular la impedancia acústica de los materiales.

Si bien el sonómetro HY1361 puede medir la presión sonora dentro del tubo, para cálculos más precisos de impedancia acústica y coeficiente de absorción sonora, se recomienda usar micrófonos de precisión con análisis de señales digitales. Sin embargo, el HY1361 es útil en pruebas preliminares y para validación general del comportamiento acústico del sistema.



Figura 2. Sonómetro HY1361.

Los materiales empleados en la construcción del tubo de impedancia para medición de absorción sonora por medio del ensayo de dos micrófonos fueron:

Tabla 1. Materiales utilizados.

N.-	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
1	Tubo de acero inoxidable 3 pulgadas	1.20	m
2	Sonómetro digital	1	unidad
3	Altavoz	1	unidad
4	Pistón de nylon	1	unidad
5	Bridas de acero inoxidable	4	unidad
6			

2.3. Preparación para las futuras mediciones desarrollar

Diseño de protocolos experimentales basados en técnicas de dos micrófonos.

Selección de software de adquisición de datos y procesamiento de señales.

Identificación de materiales alternativos a analizar en próximos estudios

Protocolo Experimental Según UNE-EN ISO 10534-2

Materiales requeridos:

- Tubo de impedancia (diámetro según rango de frecuencias objetivo).
- Dos micrófonos de medición (precisión ± 0.5 dB, fase coincidente).
- Altavoz de referencia (respuesta plana en el rango de interés).
- Sistema de adquisición de datos (interfaz de audio + software como ARTA, REW o LabVIEW).
- Muestra de material a evaluar (cortada para ajuste hermético).

Pasos:

Calibración de micrófonos:

- Usar un calibrador acústico (ej. 94 dB a 1 kHz) para ajustar la sensibilidad de los micrófonos.
- Verificar la fase relativa entre micrófonos con una señal sinusoidal.

Verificación del tubo:

Realizar una medición sin muestra (extremo rígido cerrado). El coeficiente de absorción ($\alpha\alpha$) debe ser ≈ 0 y la reflectancia ($|R||R|$) ≈ 1 en todas las frecuencias.

Montaje Experimental

Configuración física:

- Colocar la muestra en un extremo del tubo, asegurando un sellado perfecto (usar masilla no reflectante si es necesario).
- Posicionar los micrófonos (M1M1 y M2M2) a distancias fijas:
M1M1 cerca de la muestra (ej. a 3 cm).
M2M2 a una distancia s de M1M1 (típicamente $s=2-5$ cm).

Nota: La distancia s debe ser menor que $\lambda/2\lambda/2$ a la frecuencia máxima medida.

Configuración de software:

- Seleccionar el método de función de transferencia en el software.
- Definir el rango de frecuencias (ej. 50 Hz – 1.6 kHz para un tubo de 10 cm de diámetro).

Adquisición de Datos

Secuencia de medición:

1. Generar una señal de excitación:
 - Barrido logarítmico (chirp) o ruido blanco/rosa con duración ≥ 2 segundos.
 - Nivel de presión sonora (SPL) entre 85–95 dB para evitar saturación o ruido.
2. Registrar las señales de ambos micrófonos simultáneamente (mínimo 3 repeticiones).
3. Almacenar los datos en formato de espectro de frecuencia (FFT con resolución ≥ 1 Hz).

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Prototipo de tubo de impedancia para mediciones acústicas

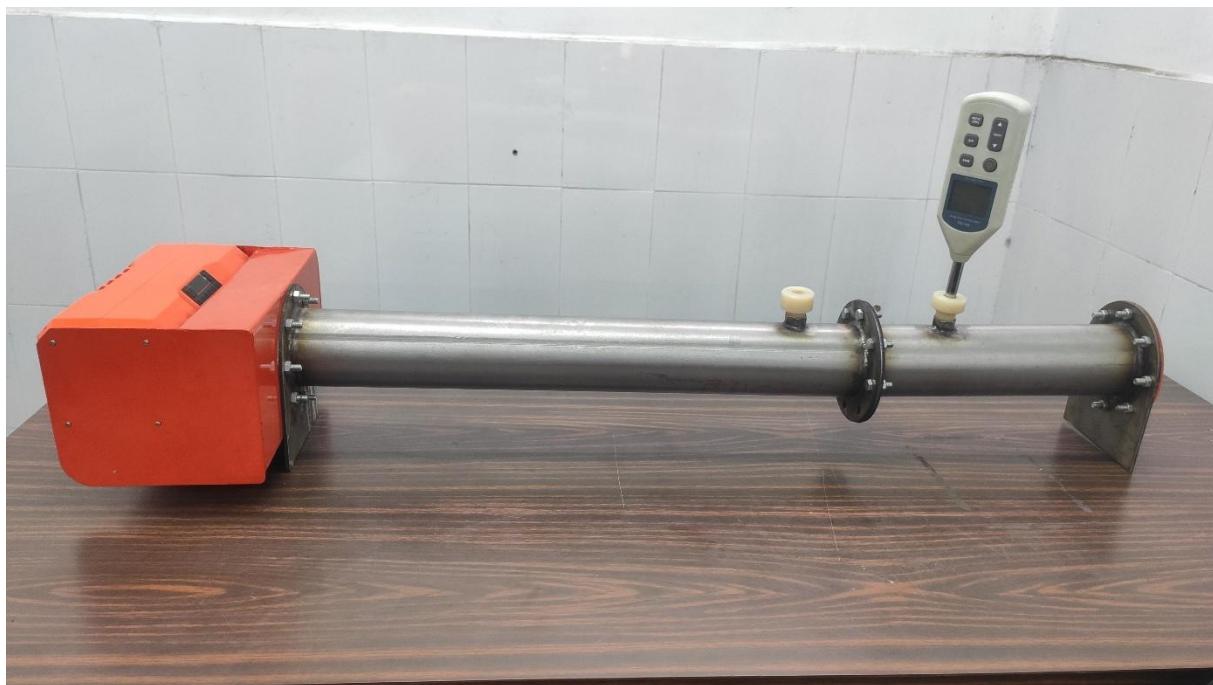


Figura 3. Prototipo tubo de medición acústica.

El análisis de los resultados obtenidos durante el proceso de construcción y validación estructural confirma que el prototipo desarrollado cumple con los requerimientos básicos para funcionar como un tubo de impedancia acústica. Su diseño económico, combinado con su funcionalidad aceptable, lo convierte en una herramienta prometedora para estudios de absorción sonora y caracterización de materiales alternativos en entornos académicos.

Aunque no se incluyeron pruebas con materiales acústicos específicos en esta fase, el comportamiento del sistema, la linealidad estructural, la estabilidad mecánica y la respuesta acústica observada en las pruebas iniciales permiten anticipar resultados positivos en las siguientes etapas del proyecto. La metodología aplicada ha demostrado ser efectiva para el diseño de equipos experimentales con fines educativos y de investigación en contextos de recursos limitados.

4. CONCLUSIONES

- La fase de diseño tomó como referencia la normativa ISO 10534-2 y diversos estudios previos para establecer las dimensiones óptimas del tubo, obteniéndose un modelo de 1,20 metros de longitud y 3 pulgadas de diámetro interno, construido en acero inoxidable.
- Durante la etapa de construcción, se implementaron medidas de control para garantizar la integridad estructural y acústica del equipo, como el desbaste de bordes, el pulido interior para minimizar reflexiones no deseadas y la verificación de hermeticidad.
- En cuanto al sistema de adquisición de datos, se validó la viabilidad de usar el sonómetro digital HY1361 como instrumento de medición preliminar. Su precisión (± 1.5 dB), rango operativo (30–130 dB), y la capacidad de exportar datos en formatos digitales, lo convierten en una opción viable para ensayos iniciales. Además, su compatibilidad con ponderaciones A y C permite ajustar las mediciones de acuerdo con los requerimientos específicos de análisis acústico.
- La estructura construida mantiene una adecuada alineación axial, permitiendo el correcto montaje del altavoz y los sensores acústicos, así como la colocación de muestras absorbentes sin interferencia mecánica. Esta validación estructural indica que el tubo está listo para fases futuras de medición experimental con materiales absorbentes de origen alternativo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Ekbatani, P. Rattanawongkun, S. Klayya, D. Papageorgiou, N. Soykeabkaew y H. Zhang, “Hierarchical natural fibre composites based on cellulose nanocrystal-modified luffa structures for binderless acoustic panels,” *Polymers*, vol. 17, 2025, doi: 10.3390/polym17030281.
- [2] C. Echeverria, F. Pahlevani, W. Handoko, C. Jiang, C. Doolan y V. Sahajwalla, “Engineered hybrid fibre reinforced composites for sound absorption building applications,” *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2018.12.014.
- [3] C. da Silva, F. Terashima, N. Barbieri y K. Lima, “Sound absorption coefficient assessment of sisal, coconut husk and sugar cane fibers for low frequencies based on three different methods,” *Applied Acoustics*, vol. 156, 2019, doi: 10.1016/j.apacoust.2019.07.001.
- [4] S. Maitra, S. Sahni y D. Gupta, “Nonwoven acoustic panels from Himalayan nettle (*Girardinia diversifolia* L.) fibre,” *Industrial Crops and Products*, 2024, doi: 10.1016/j.indcrop.2024.118746.

CIYA. Ciencias de la ingeniería y Aplicadas, Vol. 10 N° 1, enero-junio de 2026, pp. 16-25

[5] J. Toasa, R. Fernández, C. Quinatoa, P. Chávez y A. Moya, “Determinación del nivel de presión sonora generado por el tráfico vehicular en el paso lateral de la ciudad de Latacunga,” *Revista CIYA*, pp. 40–52, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://investigacion.utc.edu.ec/index.php/ciya/article/view/357/325>

[6] G. Silva, M. Nunes, R. Lopes y A. Júnior, “Design and construction of a low-cost impedance tube for sound absorption coefficients measurements,” 2013.

[7] A. B. Arunkumar y A. Jeyanthi, “Design and analysis of impedance tube for sound absorption measurement,” 2017.

[8] S. Bhattacharya y D. Bihola, “Development of impedance tube to measure sound absorption coefficient,” *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2019, doi: 10.35940/ijeat.f8818.088619.

[9] “Ajuste del número de onda del absorbente,” AIM — Acústica e Ingeniería del Ruido, Universidad Politécnica de Valencia. [En línea]. Disponible en: <https://aim.upv.es/Ruido/absorbente.htm> (accedido el 6 de julio de 2025).

[10] C. Elrod y H. Hall, “Design and construction of the Texas Christian University impedance tube,” *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2024, doi: 10.1121/10.0027556.

[11] J. Kergomard y R. Caussé, “Measurement of acoustic impedance using a capillary: An attempt to achieve optimization,” *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 79, 1986, doi: 10.1121/1.393385.

[12] N. Kino y T. Ueno, “Investigation of sample size effects in impedance tube measurements,” *Applied Acoustics*, vol. 68, 2007, doi: 10.1016/j.apacoust.2006.07.006.

[13] B. Schnitta y G. Enenstein, “Variations in standing-wave impedance tube design and the effect on the resulting data,” 2012, doi: 10.1121/1.4755296.

[14] N. Zomparelli, “The feasibility of building an impedance tube to measure sound absorption coefficients of materials,” *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2024, doi: 10.1121/10.0027545.

[15] N. Rodríguez, F. Manotoa, A. Hidalgo y M. Altamirano, “Metodología para la evaluación del ruido en los talleres de Mecánica Industrial del Instituto Superior Tecnológico Tungurahua,” en *Primer Congreso Internacional Multidisciplinario ISTT*, 2023, pp. 186–204. [En línea]. Disponible en: <https://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/659>