

Construcción e Implementación del Tubo de Impedancia para Determinar Coeficientes de Absorción Sonora

Giovanni Bernini

Ingeniero Civil en Sonido y Acústica

Felipe Salinas

Ingeniero Civil en Sonido y Acústica

Jaime Delannoy

Ingeniero Acústico

Resumen

La presente investigación tuvo como fin el diseño, construcción y puesta en marcha de un tubo de impedancias, de acuerdo al método descrito por las normas ASTM E1050 [1] e ISO 10534-2 [11], tomando en consideración los autores más influyentes y las modificaciones teórico-prácticas que han ayudado a mejorar la técnica de medición.

Una vez implementado el sistema, se comprobará su correcto funcionamiento por medio de pruebas estadísticas de repetibilidad y de reproducibilidad con respecto a otros métodos de medición; tales como el método clásico de ondas estacionarias que describe la norma ISO 10534-1[10] y también el método de la cámara reverberante de la norma ISO 354 [8].

1. Introducción

Los métodos para la estimación del coeficiente de absorción sonoro, han ido evolucionando a lo largo de los años, como así también la técnica tradicional del tubo de ondas estacionarias [10]. Muchos otros métodos alternativos de medición han sido propuestos, los cuales gracias al advenimiento de las técnicas digitales de análisis de señales y el desarrollo tecnológico, se ha hecho posible la determinación del coeficiente de absorción de los materiales

con mayor rapidez y de forma precisa; cubriendo rangos de frecuencias prácticamente continuos.

Los tubos de impedancia parecen ser una constante en las nuevas técnicas de medición, debido a su fácil implementación, que en conjunto con los principios de acústica en ductos y el análisis de señales, resultan en sistemas de bajo costo y gran efectividad. Las diferentes técnicas se basan en la interpretación de datos por medio de la función de transferencia, el espectro cruzado e incluso técnicas de intensidad sonora para casos posteriores. Las señales de excitación suelen ser variables; desde una señal senoidal estacionaria, al ruido blanco, como también el barrido senoidal y ruido MLS (Maximum Length Sequence).

El método elegido para la investigación, consiste básicamente en la excitación de un tubo de impedancias, por medio de ruido aleatorio de banda ancha, para así generar ondas estacionarias dentro de éste. Las ondas serán descompuestas en componentes de ondas incidentes y reflejadas, y las señales serán captadas por 2 micrófonos espaciados entre sí. Con la función de transferencia obtenida entre ambas posiciones, se calcula el coeficiente de absorción a incidencia normal del material de prueba.

2. Base teórica del Método

El Método de los 2 Micrófonos, fue introducido por primera vez en 1977, por *A.F.Seybert* y *D.F.Ross* [12]. En esta técnica, se utiliza una fuente sonora que emite ruido blanco dentro del tubo, y a su vez genera un campo sonoro de ondas estacionarias, con propagación de ondas planas.

En 1980, *J.Y.Chung* y *D.A.Blaser* [4] [5], llegan a una expresión equivalente, más concisa y computacionalmente más directa. El método utiliza la función de transferencia entre las 2 presiones de micrófono, para medir propiedades acústicas dentro de un tubo a incidencia normal.

Esta formulación, está basada en la función de respuesta impulsiva, y en asumir el proceso como estacionario y aleatorio.

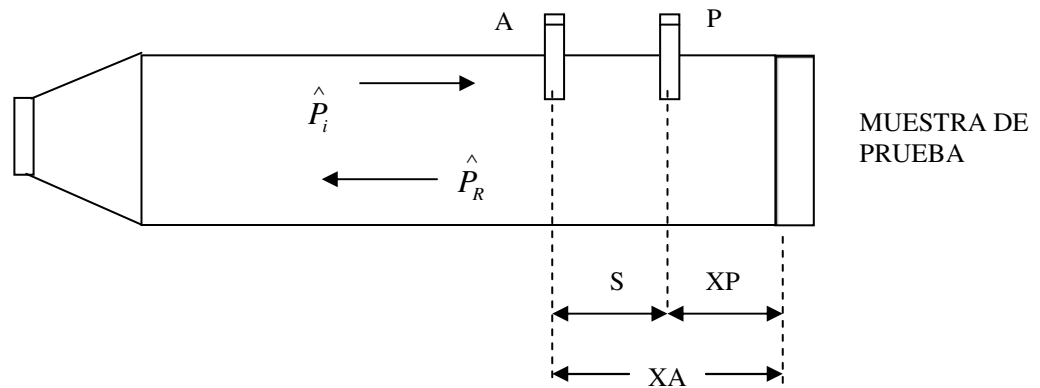


Figura 11. Tubo de impedancias con 2 posiciones de micrófono

$$\alpha = 1 - |R|^2 = 1 - R_r - jR_i = 1 - \left| \frac{H_{12} - e^{-iks}}{e^{iks} - H_{12}} \right|^2 \quad (1)$$

Esta nueva técnica, resulta ser alrededor de 40 veces más rápida que la técnica clásica del Tubo de Ondas Estacionarias (tubo de Kundt). El método de medición se encuentra normalizado por las normas ASTM E1050-98 [1] e ISO 10534-2(98) [11].

En 1984, *Fahy* [6], demostró la posibilidad de utilizar un único micrófono para esta técnica.

Independientemente, *W.T.Chu* [3] se presentó con la misma idea, pero con aplicaciones más generales, incluyendo aquellas que involucran mediciones de intensidad sonora. En este estudio, *Chu* utiliza como fuente de ruido una secuencia pseudoaleatoria; y los cálculos son realizados utilizando la función de transferencia, la cual es obtenida en esta nueva técnica, a través de la razón de la densidad del espectro cruzado de potencia y la densidad autoespectral de potencia, para un rango de frecuencias determinado.

Se tiene que por definición:

$$H_{12} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{G_{P_1 P_2}}{G_{P_1 P_1}} \quad (2)$$

donde: P : es la transformada de Fourier de presión de la señal \hat{P}

$G_{P_1 P_2}$: es la densidad de espectro cruzado de potencia de P_1 y P_2

$G_{P_1 P_1}$: es la densidad auto-espectral de potencia de P_1

con *: *conjugado*

$$G_{P_1 P_2} = P_1^* \cdot P_2 \quad \text{y} \quad G_{P_1 P_1} = P_1 \cdot P_1^* \quad (3)$$

La ecuación, puede escribirse también como:

$$H_{12} = \frac{P_1^* \cdot P_2}{P_1 \cdot P_1^*} \frac{S \cdot S^*}{S \cdot S^*} = \frac{G_{P_1 S}}{G_{P_1 P_1}} \frac{G_{S P_2}}{G_{S S}} = H_{1S} \cdot H_{S2} \quad (4)$$

donde: *: *conjugado*

$S \cdot S^*$: es el espectro de potencia de la señal del generador, responsable del campo acústico en el interior del tubo:

H_{1S} : Función de transferencia entre la señal del micrófono en la posición 1 y la señal del generador.

H_{S2} : Función de transferencia entre la señal del generador y la posición 2.

Para la excitación con ruido blanco, este proceso de medición puede considerarse estacionario, y así las señales de los micrófonos, no requieren ser simultáneamente procesadas. Al utilizar un único micrófono se eliminan elaborados procesos de calibración y errores asociados a diferencias de fase entre 2 micrófonos.

3. Construcción

Se diseñó un tubo con las características necesarias para obtener coeficientes de absorción sonora, para un rango de frecuencias extendido desde 100 [Hz] hasta 4000 [Hz].

4. Pruebas Estadísticas

Con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del tubo de impedancias construido, junto con su programa BERSALFA®, y asegurar que éstos arrojaban resultados coherentes, se realizaron mediciones para evaluar la repetibilidad y reproducibilidad del método de medición implementado. Las pruebas se efectuaron de acuerdo a la norma ISO 5725-2[9].

4.1 Repetibilidad y Reproducibilidad

Se define repetibilidad, r , como la diferencia absoluta entre 2 resultados únicos de prueba, obtenidos bajo condiciones de repetibilidad, y donde se espera que los valores se mantengan con una probabilidad del 95%.

Condiciones de repetibilidad, son las que implican que las mediciones serán hechas por una misma persona, en las mismas condiciones ambientales, con los mismos procedimientos, lugar, hora y sin extraer ni re-introducir la muestra del tubo.

La reproducibilidad, R , se define como la diferencia absoluta entre 2 resultados únicos de prueba, obtenidos bajo condiciones de reproducibilidad, y se espera que los valores se mantengan con una probabilidad del 95%.

Las condiciones de reproducibilidad, para nuestro caso, se refieren a muestras de un mismo material, siendo medidas con distinto instrumental.

En nuestro caso, la comparación se hará entre distintos métodos, entonces nuestro nuevo coeficiente de reproducibilidad, será definido como R' , el cual considera sólo el efecto de usar distintos métodos para un mismo material de ensayo.

4.2 Mediciones

Se realizaron pruebas de repetibilidad para el método de medición propuesto en este trabajo; para este propósito, se utilizó una muestra de SAMFOAM 60mm - 30Kg/m³.

Repetibilidad

Se efectuaron 6 mediciones a la muestra de ensayo, divididas en dos tiempos distintos de medición, es decir, tres mediciones para el tiempo uno, y tres mediciones para el tiempo dos.

Primero se realizaron pruebas de repetibilidad para posiciones de medición 2 – 3 y luego para posiciones de medición 3 – 5. Con el objetivo de observar si se presentaban variaciones en la repetibilidad para distintos intervalos.

Para las pruebas de repetibilidad no se observaron diferencias significativas, con lo cual se aseguró un nivel de confianza en las mediciones del 95%.

Reproducibilidad

Para evaluar la reproducibilidad de las mediciones realizadas con el tubo BERSALFA®, se tomó una muestra de SAMFOAM 40mm - 20kg/m³, y se compararon los resultados con respecto a otros dos métodos de medición: el método de la cámara reverberante y el método del tubo de Kundt .

Los distintos valores de absorción obtenidos de las mediciones con los tres métodos, son los dados por la Tabla 1 y el Gráfico 1.

Término	METODO CAMARA REVERBERANTE	TUBO DE ONDAS ESTACIONARIAS	TUBO DE IMPEDANCIA 2 POSICIONES MIC
NRC	0.52	0.51	0.50
SAA	0.50	0.50	0.51

Tabla 1. Absorción Sonora para distintos métodos de medición, utilizando una muestra de SAMFOAM 40mm - 20 kg/m³ .

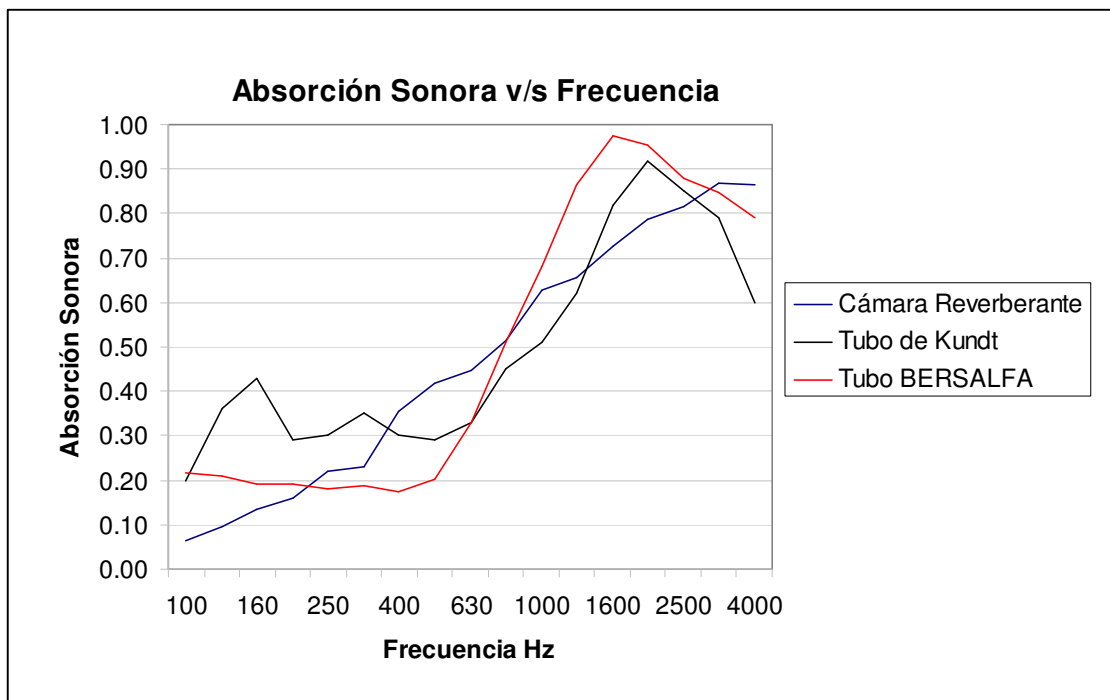


Gráfico 1. Absorción Sonora para distintos métodos de medición, utilizando una muestra de SAMFOAM 40mm - 20 kg/m³ .

Para las pruebas de reproducibilidad, se concluyó que el tubo BERSALFA® en conjunto con su software del mismo nombre, presentaron una excelente reproducibilidad con respecto a los otros 2 métodos, es decir los valores que se obtuvieron, se mantuvieron con una probabilidad del 95%.

Al comparar los valores de NRC y de SAA de los tres métodos utilizados, para una misma muestra en particular, se observó que son prácticamente iguales; lo que se traduce en que el sistema de medición implementado con el tubo BERSALFA®, tuvo una buena correlación para estos valores únicos.

5. Conclusiones

- Los errores asociados a las distintas posiciones de micrófono siempre estarán presentes. Y éstos dependerán de diversos factores, tales como distancia entre los micrófonos, distancia entre micrófono y fuente, distancia entre micrófono y muestra, así también modos normales que coinciden con las posiciones de micrófono.

Por lo que no es posible con un solo par de posiciones de micrófono, cubrir todo un rango de frecuencias con la misma precisión. Ésta es una debilidad inherente al método dado por la norma ASTM E1050[1].

- Al medir con un único micrófono, se evitan elaborados procesos de calibración, para eliminar errores de magnitud y fase entre dos micrófonos.

- Se obtuvo una buena correlación de los valores de NRC y SAA, con respecto a otros métodos de ensayo.

- La hermeticidad resultó ser un factor importante, en la obtención de coeficientes de absorción en bajas frecuencias, ya que al haber fugas en el porta muestras, existiría una potencial pérdida energética para ondas de bajas frecuencias, y por ende, un valor de absorción poco confiable.

- El nivel de emisión de la fuente, debe ser ajustado de manera tal, que no se produzcan turbulencias dentro del tubo, una vez que esté sellado. Altos niveles de emisión implican mediciones y resultados altamente incoherentes, e incluso desastrosos.

Discusión

Debido a la buena correlación de los resultados obtenidos, utilizando los métodos de medición descritos, se puede decir que, si bien se obtienen resultados que se aproximan bastante a valores estandarizados, existen diferencias que deben ser consideradas, tal como la incidencia normal del sonido. Por lo que el método empleado en este trabajo, puede ser utilizado más bien como un medio para obtener curvas de absorción representativas y/o desarrollo de materiales, y no siempre para obtención de valores publicables.

Referencias

- [1] ASTM E1050-98 "Standard test method for Impedance and absorption of acoustical materials using a tube, two microphones and a digital frequency analysis system".
- [2] Hans Bodén, Mats Abom, "Influence of errors on the two-microphone method for measuring acoustic properties in ducts", J.Acoustic.Soc.Am. vol.79, 541-549, Feb. 1986
- [3] W.T.Chu, "Transfer function technique for impedance and absorption measurements in a impedance tube using a single microphone", J.Acoustic.Soc.Am. vol.80, 555-560, August 1980
- [4] J.Y.Chung, D.A.Blaser, "Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties" .I. Theory, J.Acoustic.Soc.Am. vol.68, 907-913, Sept.1980

- [5] J.Y.Chung, D.A.Blaser, "Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties" .I. Experiment, J.Acoustic.Soc.Am. vol.68, 914-921 Sept.1980
- [6] F.J. Fahy, "Rapid method for the measurement of sample acoustic impedance in a standard wave tube" J.Sound Vib. 97, 168-170 (1984).
- [7] Angelo Farina, Anna Torelli, "Measurement of the absorption coefficient of materials with a new sound intensity technique".
- [8] ISO 354-1985 "Acoustics: Measurement of sound absorption in a reverberation room".
- [9] ISO 5725. "Precision of test methods - Determination of repeatability and reproducibility for a standard test method by inter-laboratory test".
- [10] ISO 10534-1. 1996 ."Acoustics: Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 1: Method using standing wave ratio".
- [11] ISO 10534-2. 1998 "Acoustics: Determinación of sound absorption coefficient and impedance tubes - Part2: Transfer-function method".
- [12] A.F.Seybert, D.F.Ross, "Experimental determination of acoustic properties using a two-microphone random-excitation technique", J.Acoustic.Soc.Am. vol.61,1362-1370, May 1977.