



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

ESTUDIO DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN TUBO DE KUNDT

PACS: 43.58.Bh

Caballol Bartolomé, David ¹; Pérez Raposo, Álvaro ².
Universidad Politécnica de Madrid. ETS Edificación.

¹ Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su Control

² Departamento de Matemática Aplicada

Avda. Juan de Herrera 6

28040 Madrid. España

Tel: +0034 913367611

david.caballol@upm.es

Tubo de impedancias; Pérdida de Transmisión; Materiales de Construcción

ABSTRACT

We explore the limits of use of the kundt's tube and the transfer matrix method for the measurement of transmission loss with common building materials.

The results of several tests performed in a standing wave tube with different sealing methods are presented.

With the analysis of the obtained data, it is proved that the "two loads" method in the kundt's tube cannot be used to measure the transmission loss of rigid construction materials like the tested ones due to the variability of the data.

RESUMEN

En este trabajo se exploran los límites de uso del tubo de kundt con materiales de construcción convencionales.

Se presentan los resultados de varios ensayos realizados con diferentes materiales y diferentes métodos de sellado perimetral de las muestras.

El análisis de los datos obtenidos muestra una elevada variabilidad con lo que se consigue demostrar que no es un método fiable, ni siquiera para realizar comparaciones entre materiales.

INTRODUCCIÓN

Para la medición de la absorción del sonido existen dos métodos paralelos, complementarios el uno al otro.

El método de cámara reverberante que se describe en el estándar ISO 354 [1], y que permite probar las propiedades absorbentes de un material o de un elemento constructivo completo. Y

FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre**

el método de "dos micrófonos" o "función de transferencia", descrito en la norma ASTM E1050 y en su correspondiente ISO 10534-2 [2, 3], y que hace uso de una onda estacionaria dentro de un tubo para medir la propiedad de absorción de sonido intrínseca del material, es decir, su coeficiente de absorción [4, 5]. En este escenario, las ventajas del ensayo realizado con un tubo de Kundt (o tubo de impedancia) parecen claras: es un dispositivo más simple, por lo tanto, mucho más asequible para pequeños laboratorios, utiliza pequeñas muestras del material y, finalmente, no está apenas condicionado por el ruido de fondo en el entorno del laboratorio. De hecho, el método mediante tubo de Kundt se puede considerar el método más extendido para medir la absorción del sonido y la impedancia de los materiales, tal y como lo muestran estas referencias [6, 7, 8, 11].

La situación con respecto a la medición del aislamiento acústico es similar.

Existe el método de "dos salas", que se describe en la norma ISO 10140-2 [9], y que es adecuado para medir el aislamiento acústico de un elemento de construcción completo, tal como una pared, una ventana, etc. Sus requisitos se describen en la norma ISO 10140-5 [10] que especifica una instalación de ensayo con dos salas adyacentes sin transmisión de sonido por vías indirectas, con dimensiones superiores a 50 m³, sin ondas estacionarias dominantes, tiempo de reverberación y ruido de fondo bajo control y una abertura entre ellos donde se monta el elemento objeto de ensayo.

El método de "dos salas" también se puede utilizar para medir la pérdida de transmisión de un material, es decir, sus capacidades intrínsecas de aislamiento acústico.

Hay también un método específicamente diseñado para medir aislamiento mediante un tubo de Kundt: el "método de la matriz de transferencia".

Aunque este método tiene en teoría, las mismas ventajas descritas anteriormente para el método de "función de transferencia", sin embargo, no puede considerarse un método de ensayo consolidado.

Tres son los principales obstáculos.

- En primer lugar, no hay correlación entre las mediciones de pérdida de transmisión realizadas con tubos de Kundt y aquellos realizados usando la sala reverberante tradicional.
- En segundo lugar, la norma ASTM E 2611-09 no garantiza la adecuada reproducibilidad que permitiría ganar control sobre la variabilidad de los resultados. Sería necesario realizar antes comparaciones mediante pruebas interlaboratorios como se definen en la norma ISO 12999-1 [13].
- Y, tercero, tan solo se sabe que el método funciona para los llamados materiales "blandos", como flexibles muestras de espuma, goma o fibra que se usan típicamente como silenciadores en aplicaciones de control de ruido.

Por lo tanto, y en teoría, el método del tubo de Kundt podría servir para medir las propiedades de aislamiento (pérdida de transmisión), pero debería ser utilizado únicamente para clasificar las muestras en un sentido relativo. La pérdida de transmisión obtenida para una muestra dada no será igual a la obtenida para el mismo material usando el método de "dos salas". La diferencia más significativa entre ambos métodos es que en el tubo de impedancia el sonido incide en la muestra de ensayo en una dirección perpendicular solamente, mientras que el método de sala proporciona incidencia aleatoria del sonido.

A pesar de estos desalentadores problemas, las posibles ventajas del ensayo con tubo de Kundt hace que valga la pena explorar todas sus capacidades y, por lo tanto, este documento está enfocado en uno de los problemas aún no suficientemente estudiados: su posible uso para

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

la medición del aislamiento acústico en materiales de construcción rígidos. Para eso hemos probado dos materiales de construcción, rígidos muy comunes, hormigón y paneles de yeso laminado, siguiendo la norma ASTM E2611-09 [12]. Se han analizado los datos y clasificado los obstáculos encontrados en el procedimiento y, finalmente, se responde a la pregunta: ¿es el ensayo mediante tubo de Kundt un método adecuado para medir la pérdida de transmisión de materiales de construcción rígidos?

MÉTODO

Hemos medido la pérdida de transmisión mediante las condiciones especificadas por la norma ASTM E2611-09 [12]. Este método de ensayo usa un tubo de Kundt y cuatro micrófonos en dos ubicaciones a cada lado de la muestra. Las ondas planas son generadas en el tubo utilizando una señal de banda ancha de una fuente de ruido aleatorio.

El patrón de onda estacionaria resultante se descompone hacia delante y hacia atrás midiendo la presión acústica simultáneamente en las cuatro ubicaciones de los micrófonos y examinando su amplitud relativa y su fase.

La matriz de transferencia se calcula a partir de la presión y la velocidad de las ondas a cada lado de la muestra usando el método de "dos cargas" (two load method). [14,15]

Hemos ensayado dos materiales de construcción, hormigón y paneles de yeso laminado, para los cuales existen datos fiables sobre sus propiedades de aislamiento acústico mediante el método de dos salas con la norma ISO 10140-2 [9].

Preparación de las muestras.

Para la realización del estudio con hormigón se realizaron seis series de probetas cilíndricas de 150x300, de tres unidades cada serie. El tipo de hormigón empleado fue HA-25/B/20/IIa (hormigón comúnmente empleado en distintas obras de edificación) con cemento portland tipo CEM II/B-L 32,5 N.

La dosificación utilizada, obtenida en estudios previos, es 1:3:2:0,45 en peso, siendo una parte de cemento, tres de grava, dos de arena y 0,45 de agua.

Se tuvieron que realizar tres intentos hasta conseguir las muestras adecuadas que fueran capaces de ajustar correctamente en el tubo.

Para obtener las muestras que se ensayarían, en un primer intento se procedió a la extracción de microtestigos cilíndricos en las probetas número 3, 6, 9, 12,15 y 18, mediante broca de diamante de diámetro 1 mm menor que el diámetro del tubo de Kundt, para su posterior corte en rodajas de 1 cm de espesor.

Al encontrarse la corona con la grava del hormigón, el testigo se rompía y al partirse imposibilitaba la obtención de muestras viables para el ensayo mediante tubo de impedancia.

En un segundo intento, se procedió a cortar primero la probeta cilíndrica en rodajas de 1 cm de espesor para a continuación intentar extraer la muestra para el ensayo en el tubo de Kundt.

De nuevo al realizar el corte, cuando se encontraba la corona con la grava del hormigón, provocaba que los áridos gruesos que están en el perímetro se despegaran del conjunto, invalidando la muestra.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18- 24 al 26 de octubre

Por último, se realizaron nuevas muestras utilizando moldes de plástico fabricados específicamente para este propósito. Para ello se hubo de emplear un hormigón con árido de tamaño máximo menor. Tamaño 8 (retenido en el tamiz 6,3 de la serie ASTM).

Una vez recogido el árido retenido en el tamiz 6,3 se realizó una única amasada para elaborar 12 probetas cúbicas de 10x10 con las que verificar su resistencia a compresión y 32 muestras en moldes para los ensayos mediante tubo de impedancia.

A las 24 horas de haber vertido el hormigón, las muestras se desmoldaron, y se procedió a su curado en cámara húmeda durante 28 días.

La obtención de las muestras de ensayo de yeso laminado fue mucho más sencillo. La imposibilidad del corte de los materiales mediante corona que se observa en el caso de materiales extremadamente duros y formados mediante aglomerados, no se observa en el caso de un material de construcción algo menos duro como el panel de yeso laminado.

En estos casos, es posible la utilización de diferentes coronas metálicas dentadas. Con la corona de corte adecuada, mediante este método se obtienen muestras precisas sin apenas imperfecciones.

Para la realización del estudio con yeso laminado, se obtuvieron muestras extraídas de placas estándares (STD 13) de panel de yeso laminado de espesor 12,5 mm.

Todas las muestras de yeso laminado pertenecen al mismo tipo de placa y mismo lote de fabricación.

En todos los casos se cortaron las muestras sin dificultad mediante a una corona metálica de corte, montada en un taladro vertical.

Montaje de las muestras en el tubo.

Es conocido que el correcto ajuste de la muestra objeto de ensayo en el tubo es crítico para obtener resultados fiables.

Inicialmente se probó a montar las muestras libremente suspendidas mediante un sellado perimetral de vaselina. Tal y como se verá a continuación, se apreció una muy elevada dispersión de resultados para un mismo tipo de material por lo que se continuó probando con otras opciones de montaje, intentando disminuir la dispersión.

Las muestras de ambos materiales (hormigón y yeso laminado), se ensayaron empleando para su montaje cuatro materiales: vaselina, silicona neutra, burlete plástico para el sellado de ventanas de 1 mm de espesor y papel adhesivo (con adhesivo solo en una cara).

En todos los casos se intentó que las muestras quedaran libremente suspendidas. Todas las muestras fueron independizadas perimetralmente con los distintos materiales evitando en todos los casos el contacto directo entre la muestra y el tubo de Kundt.

Ensayos:

El método descrito en la norma ASTM E2611-09 se llama comúnmente el "método de dos cargas" porque se realiza obteniendo datos con dos terminaciones independientes (o "cargas") en el tubo de Kundt. Las terminaciones independientes que se utilizaron en los ensayos fueron, final abierto y final cerrado incluyendo material absorbente (espuma de melamina).

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Los ensayos se realizaron utilizando un único tubo metálico de onda estacionaria con las siguientes características:

- Rango de frecuencia: 50 Hz - 5700 Hz
- SPL máximo en el tubo: 150 dB
- Ruido ambiental en el tubo: menos de 30 dBA
- Micrófonos: estándar ½ pulgada
- Diámetro interior del tubo: 34.9 mm

Este tubo en particular ha sido sujeto de una prueba de intercomparación entre ocho laboratorios en 2015 y nuevamente, entre 13 laboratorios, en 2017, con buenos resultados en ambos casos.

RESULTADOS

La pérdida de transmisión acústica se midió para dos materiales, una variedad de métodos de sellado, y para cada frecuencia en bandas de tercio de octava. Para cada material y cada método de sellado, se midió una muestra de tamaño tres. La Tabla 1 reúne la información principal obtenida en los ensayos de estas muestras: su media, y la desviación estándar de cada una, en decibelios.

freq./Hz	concrete (jelly)	gypsum (strip)	gypsum (paper)	gypsum (jelly)	gypsum (silicone)
100	28.7 (6.9)	24.5 (3.4)	13.9 (7.4)	14.9 (4.7)	20.0 (2.5)
125	31.7 (6.6)	27.0 (3.5)	17.1 (7.1)	19.8 (8.7)	22.3 (6.2)
160	37.4 (9.6)	37.7 (2.8)	19.6 (4.6)	22.4 (18.4)	21.1 (13.9)
200	44.9 (15.9)	48.9 (0.7)	21.1 (5.1)	25.5 (16.3)	19.1 (25.0)
250	43.6 (14.3)	43.8 (1.6)	20.0 (5.6)	21.9 (14.2)	15.3 (19.5)
315	45.6 (10.9)	39.0 (1.0)	19.1 (6.5)	23.3 (14.0)	18.6 (13.9)
400	51.2 (12.5)	48.6 (7.9)	21.8 (7.5)	26.8 (15.7)	18.7 (14.9)
500	52.6 (11.8)	50.5 (2.6)	22.2 (8.2)	26.4 (13.2)	15.6 (15.0)
630	49.3 (10.4)	52.0 (1.3)	22.0 (7.3)	28.3 (17.0)	13.5 (12.6)
800	55.0 (12.0)	57.2 (3.5)	24.3 (6.6)	31.5 (19.5)	14.1 (9.1)
1000	52.2 (9.5)	44.6 (0.7)	24.0 (6.6)	28.4 (12.8)	15.7 (12.9)
1250	58.1 (13.3)	48.4 (1.4)	25.5 (6.6)	29.9 (12.0)	20.5 (16.2)
1600	57.2 (10.2)	53.4 (1.2)	26.3 (6.7)	29.2 (8.7)	20.4 (17.3)
2000	59.5 (9.8)	53.4 (4.4)	27.0 (5.1)	29.2 (6.5)	21.5 (18.1)
2500	60.7 (9.1)	49.4 (4.3)	27.4 (3.2)	30.6 (6.9)	22.5 (17.6)
3150	65.3 (4.6)	35.7 (1.6)	26.2 (2.5)	31.0 (9.0)	22.2 (14.5)
4000	63.5 (2.0)	34.0 (2.1)	29.7 (1.3)	32.0 (4.0)	23.4 (11.6)
5000	66.9 (2.9)	30.6 (3.5)	26.8 (2.8)	29.0 (4.5)	26.3 (6.3)

Tabla 1: Media, \bar{x} , y desviación estándar, s (entre paréntesis), de la pérdida de transmisión, en decibelios, para cada material y cada método de sellado (entre paréntesis) en muestras de tamaño tres.

El conjunto completo de datos se muestra en el Gráfico 1. Hay dos características llamativas de los datos que se pueden observar tanto en la tabla como en el gráfico: primero, los valores excesivamente altos obtenidos como resultado de los ensayos y segundo la alta variabilidad que se observa en estos

valores. El primero es un problema relativo, si los valores obtenidos son demasiado distantes de los obtenidos por el otro estándar, este método de ensayo para obtener la pérdida de transmisión debería ser revisado y posiblemente podría utilizarse con sus pertinentes modificaciones. Sin embargo, el último es un problema mucho más difícil, si la variabilidad es demasiado alta, este método tendría que ser descartado como método de confianza para medir la pérdida de transmisión en estos materiales de construcción rígidos.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18- 24 al 26 de octubre

El segundo problema es intrínseco, y por lo tanto, no depende de la comparación con los resultados de la otra norma para medir la pérdida de transmisión. Por lo tanto, nos dedicamos al estudio de la variabilidad de los resultados en primer lugar.

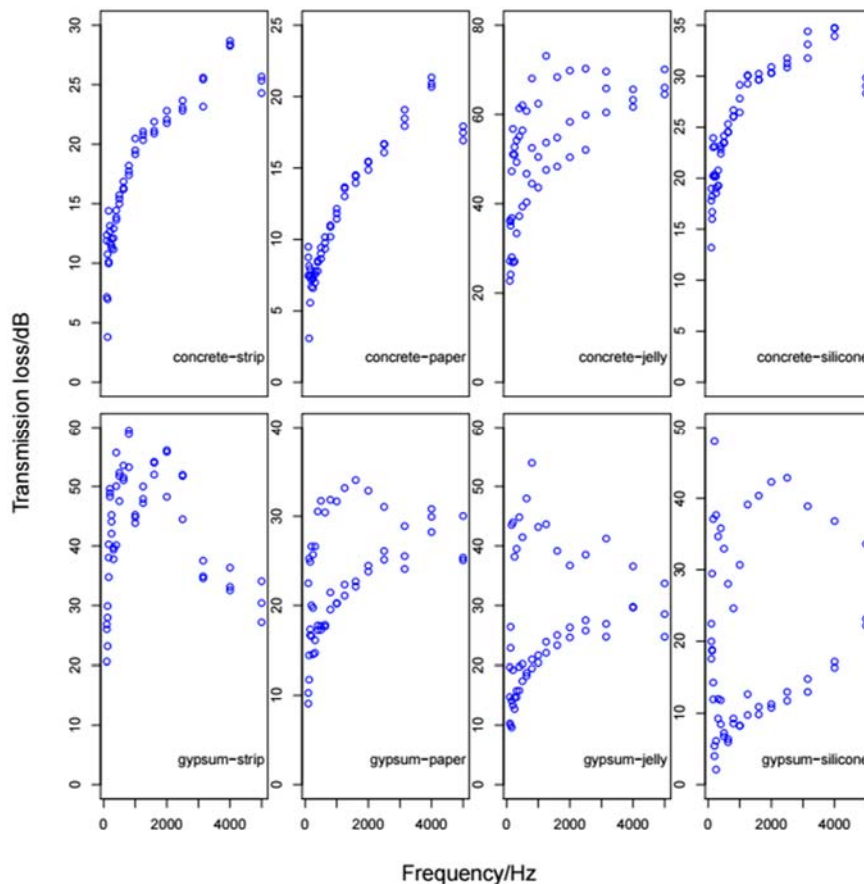


Gráfico 1: datos completos presentados gráficamente.

Para poder juzgar si la variabilidad de las muestras, indicada por la desviación estándar de cada muestra es demasiado alta, más allá de un enfoque intuitivo, se necesita una medida adimensional de la dispersión, por lo que se puede comparar con una medida estándar. El estadístico seleccionado es el coeficiente de variación de la muestra, que es la relación de la desviación estándar con la media de la muestra: $v = s/\bar{X}$.

El coeficiente de variación nos permite comparar diferentes muestras (diferentes materiales, diferentes métodos de sellado y diferentes frecuencias). La Tabla 2 da el coeficiente de variación de cada muestra, que son los números que tenemos que estudiar.

DISCUSIÓN

La discusión de los valores del coeficiente de variación en la Tabla 2 debe ser hecha con respecto a la distribución de probabilidad. Para estudiar la distribución de probabilidad del coeficiente de variación se usa la aproximación de Hendriks y Robe [17] por ser la más adecuada para este caso.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

La validez de la aproximación de Hendriks y Robe [16] está limitada por valores de la media negativos o muy cercanos a cero, y no es nuestro caso como se puede ver en la Tabla 1.

La aproximación de Hendriks-Robe da la siguiente función de densidad para el coeficiente de variación de muestras de tamaño tres:

$$f(v) = v \frac{3+V^2 \cdot (1+v^2)}{V^2 \cdot (1+v^2)^{5/2}} \cdot e^{-\left(\frac{3 \cdot v^2}{2 \cdot V^2 \cdot (1+v^2)}\right)} \quad (1)$$

freq./Hz	concrete (jelly)	gypsum (strip)	gypsum (paper)	gypsum (jelly)	gypsum (silicone)
100	0.24	0.14	0.53	0.32	0.12
125	0.21	0.13	0.42	0.44	0.28
160	0.26	0.07	0.23	0.82	0.66
200	0.35	0.01	0.24	0.64	1.31
250	0.33	0.04	0.28	0.65	1.27
315	0.24	0.03	0.34	0.60	0.75
400	0.24	0.16	0.34	0.59	0.80
500	0.22	0.05	0.37	0.50	0.96
630	0.21	0.03	0.33	0.60	0.94
800	0.22	0.06	0.27	0.62	0.64
1000	0.18	0.02	0.27	0.45	0.82
1250	0.23	0.03	0.26	0.40	0.79
1600	0.18	0.02	0.26	0.30	0.85
2000	0.16	0.08	0.19	0.22	0.84
2500	0.15	0.09	0.12	0.23	0.78
3150	0.07	0.05	0.09	0.29	0.65
4000	0.03	0.06	0.04	0.12	0.49
5000	0.04	0.11	0.10	0.16	0.24

Tabla 2: Coeficiente de variación de las muestras

motivo, se emplea como referencia para el coeficiente de variación; por lo tanto, el valor "V", el coeficiente de variación de la población, se estima a partir de los resultados obtenidos al realizar los mismos ensayos con este material.

De este modo somos capaces de calcular la probabilidad del coeficiente de variación de una muestra de tamaño tres por medio de la siguiente fórmula (2):

$$p = 1 - \int_0^v f(v') dv' \quad (2)$$

donde f está dada por la ecuación (1).

Donde "v" es el coeficiente de variación de las muestras y "V" es el coeficiente de variación de la población. Como no conocemos el coeficiente de variación de la población con exactitud tendremos que estimarlo y también deberemos verificar si la población tiene una distribución normal. Para resolver estas dudas, hemos ensayado dos nuevas muestras. Por un lado, una muestra de tamaño 10 del mismo yeso laminado de 12.5 mm de espesor con el objetivo de verificar la suposición de normalidad. En esta muestra, para cada frecuencia, se mide la pérdida de transmisión y se realiza la prueba de normalidad Shapiro-Wilk en los datos obtenidos. Por otro lado, también se ensayó una muestra de tamaño 10 de material de lana de roca. Es bien sabido que este material es muy adecuado para este ensayo en concreto y los resultados de la pérdida de transmisión son por lo tanto confiables para él. Por este

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

El resultado de este cálculo es el resultado principal de esta parte del análisis de los datos, y se muestra en la tabla siguiente (Tabla 3).

freq./Hz	concrete (jelly)	gypsum (strip)	gypsum (paper)	gypsum (jelly)	gypsum (silicone)
100	0.5813	0.8314	0.1104	0.4069	0.8629
125	0.2960	0.6196	0.0126	0.0086	0.1201
160	0.0000	0.2741	0.0000	0.0000	0.0000
200	0.0000	0.7458	0.0000	0.0000	0.0000
250	0.0000	0.1792	0.0000	0.0000	0.0000
315	0.0000	0.2296	0.0000	0.0000	0.0000
400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
630	0.0000	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000
800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1000	0.0000	0.0980	0.0000	0.0000	0.0000
1250	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1600	0.0001	0.8534	0.0000	0.0000	0.0000
2000	0.1483	0.6053	0.0854	0.0305	0.0000
2500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4000	0.1237	0.0004	0.0149	0.0000	0.0000
5000	0.5031	0.0097	0.0196	0.0002	0.0000

Tabla 3: P-valores de las muestras

El estudio de esta tabla nos lleva, en primer lugar, a la columna de los resultados el hormigón: la mayoría de los valores p son muy pequeños; todos excepto los de 100 Hz, 125 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz y 5000 Hz. Las otras trece frecuencias muestran una variabilidad extremadamente alta, por lo que los resultados no son admisibles como confiables para la caracterización de esta propiedad acústica del material.

Si cambiamos nuestra atención a las columnas de muestras de yeso laminado, selladas de varias maneras, sacamos la misma conclusión. De hecho, las muestras de placas de yeso selladas con papel, con vaselina o con silicona dan casi todos los p-valores por debajo de 0.05, por lo que la dispersión de los resultados es demasiado alta para ser admisible.

Estos resultados nos llevan a rechazar el dispositivo experimental, independientemente del valor real de la pérdida de transmisión dada por los datos, porque la variabilidad muestra que el método no es adecuado para ellos.

CONCLUSIÓN

Hemos llevado a cabo varios ensayos para verificar la capacidad del tubo de Kundt para medir la pérdida de transmisión de materiales de construcción rígidos mediante el método de las "dos cargas", tal como se describe en la norma ASTM E2611-09. En el articulado de la norma ASTM E2611-09, se afirma la utilidad del método aunque sus resultados no coincidan con los del método de "dos salas" pero que sin embargo, podrían ser utilizados en un esquema comparativo entre diferentes materiales.

Nuestros resultados, sin embargo, arruinaron todos los deseos anteriores para los dos materiales ensayados: tablero de hormigón y yeso. Los resultados obtenidos de la pérdida de transmisión en nuestros ensayos, en bandas de tercio de octava, con dos materiales diferentes y cuatro métodos de sellado distintos, con tres muestras en cada caso, son bastante distintas de los resultados ya conocidos del aislamiento acústico proporcionado por estos materiales.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Pero este no ha sido el verdadero problema. El problema real que apareció en nuestros resultados es mucho más profundo; la variabilidad de los datos es demasiado alta. Para confirmar esto, analizamos el coeficiente de variación de las medidas en nuestras muestras, y estudiamos si sus valores son compatibles con una medida de pérdida de transmisión, por el mismo método, en un material bien conocido. El resultado de esta comparación, por medio de la distribución de probabilidad del coeficiente de variación es que la variabilidad de nuestros datos es demasiado alta para ser admisible como una medida confiable.

De hecho, cualquier intento de extraer un valor de los datos, digamos el valor medio en una serie de muestras, de ninguna manera es válida. Cualquier valor calculado a partir de estos datos no representa una medida fiable de la propiedad aislante del material. La única conclusión posible es, por lo tanto, que el método de "dos cargas" en el tubo de Kundt no puede ser utilizado para medir la pérdida de transmisión de probetas de hormigón o yeso laminado.

Hemos probado también diferentes métodos de sellado en las muestras objeto de ensayo, pero no hemos apreciado un cambio significativo en la respuesta de los datos a los diversos métodos de sellado utilizados.

REFERENCIAS.

- [1] ISO 354:2003, Geneva, Switzerland, Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room (2015).
- [2] ASTM E1050-12, West Conshohocken, PA, Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones and a Digital Frequency Analysis System (2012).
- [3] ISO 10534-2:1998, Geneva, Switzerland, Acoustics-Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes-Part 2: Transfer-function method (2002).
- [4] A. F. Seybert, D. F. Ross, Experimental determination of acoustic properties using a two-microphone random-excitation technique, *J. Acoust. Soc. Am.* 61 (1977) 1362–1370.
- [5] J. Y. Chung, D. A. Blaser, Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties i. theory and ii. experiment, *J. Acoust. Soc. Am.* 68 (1980) 907–921.
- [6] F. Hernandez-Olivares, M. Bollati, M. del Rio, B. Parga-Landa, Development of cork–gypsum composites for building applications, *Constr. Build.Mater.* 13 (1999) 179–186. doi:10.1016/S0950-0618(99)00021-5.
- [7] F. G. Pratico, R. Fedele, D. Vizzari, Significance and reliability of absorption spectra of quiet pavements, *Constr. Build. Mater.* 140 (2017) 274–281. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.02.130.
- [8] P. Ricciardi, F. Torchia, E. Belloni, E. Lascaro, C. Buratti, Environmental characterisation of coffee chaff, a new recycled material for building applications, *Constr. Build. Mater.* 147 (2017) 185–193. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.04.114.
- [9] ISO 10140-2, Geneva, Switzerland, Acoustics-Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 2: Measurement of airborne sound insulation (2010).
- [10] ISO 10140-5, Geneva, Switzerland, Acoustics-Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 5: Requirements for test facilities and equipment (2016).
- [11] V. Garnier, B. Piwakowski, O. Abraham, G. Villain, C. Payan, J. F. Chaix, Acoustic techniques for concrete evaluation: Improvements, comparisons and consistency, *Constr. Build. Mater.* 43 (2013) 598–613. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.01.035.
- [12] ASTM E2611-09, West Conshohocken, PA, Standard Test Method for Measurement of Normal Incident Sound Transmission of Acoustical Materials Based on the Transfer Matrix Method (2009).
- [13] ISO 12999-1, Geneva, Switzerland, Acoustics-Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics – Part 1: Sound insulation (2014).



FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre**

- [14] Z. Tao, A. F. Seybert, A review of current techniques of measuring muffler transmission loss, SAE Technical Paper 01:1653, SAE (2003).
- [15] B. Yousefzadeh, M. Mahjoob, N. Mohammadi, A. Shasahvari, An experimental study of Sound Transmission Loss (STL) measurement techniques using an impedance tube, J. Acoust. Soc. Am. 123 (2008) 3119.
- [16] W. A. Hendriks, K. W. Robey, The sampling distribution of the coefficient of variation, Ann. Math. Stat. 7 (1936) 129–132.