

METODOLOGÍA PARA MEDIDAS DE ABSORCIÓN ACÚSTICA IN-SITU MEDIANTE SENSORES DE PRESIÓN Y VELOCIDAD

PACS: 43.20 Ye

Pérez, Carlos¹; Cerdá, Salvador²; Montell, Radha¹; Cibrián, Rosa⁴; Segura, Jaume³; Barba, Arturo¹; Querol, Luis²; Giménez, Alicia¹

1 E.T.S.I. Industriales., Univ. Politécnica de Valencia, Camí de Vera s/n, carpevi1@etsii.upv.es, radmonse@upvnet.upv.es, agimenez@fis.upv.es, arbarse@doctor.upv.es,

2 E.T.S.I. Arquitectura, Univ. Politécnica de Valencia, salcerjo@mat.upv.es, luiqueba@arq.upv.es

3 Institut de Robòtica, Universitat de València, Polígon de la Coma s/n, jsegura@uv.es

4 Facultad de Medicina. Universidad de Valencia, rosa.m.cibrian@uv.es

ABSTRACT

The sound absorption coefficient of a material depends not only on the material itself, but also on other factors, so it is considered necessary to implement methods for measuring in-situ. In this paper we propose the use of a measurement equipment by pressure and speed sensors. The whole process done in tests is explained, the factors that influence the measured absorption coefficient of a sample are analyzed and discussed: measurement method, measurement point, physical characteristics of the sample, environment, etc., and finally conclusions are obtained to establish a protocol for use of the measurement equipment.

RESUMEN

El coeficiente de absorción acústica de un material depende no sólo del material en sí, sino también de otros factores, por lo que se considera necesaria la implantación de métodos de medida in-situ. En este trabajo se propone el uso del medidor mediante sensores de presión y velocidad. Se explica el proceso completo realizado en los ensayos, se analizan y discuten los factores que influyen en el coeficiente de absorción medido en una muestra: método de medida, punto de medida, características físicas de la muestra, entorno, etc., y por último se obtienen conclusiones para establecer un protocolo de uso del medidor.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los factores más influyentes en el comportamiento acústico de un material, es su coeficiente de absorción, que nos indica la energía sonora que absorbe un material en función de la que le llega, y es uno de los elementos importantes a la hora de calibrar el modelo de simulación de un entorno en el que las características acústicas son factores importantes de uso.

Para la obtención de estos coeficientes de absorción, se han propuesto muchos métodos de medida. Los más empleados han sido: medición en cámara reverberante, siguiendo la norma

UNE-EN ISO 354 [1] y en tubo de Kundt, según UNE-EN ISO 10534 [2,3]. Se trata de ensayos normalizados mediante los cuales se obtienen los valores de absorción de un material en función de sus frecuencias. Estos coeficientes son los que posteriormente se suelen emplear para realizar diversos estudios sobre recintos.

Ahora bien, tal y como es conocido, el coeficiente de absorción de un material depende además del material en cuestión, de la banda de frecuencias en las que se esté estudiando, del grosor, porosidad, densidad de éste, acabado, y de un largo número de otras variables, y depende también del comportamiento acústico del material sobre el que descansa.

Todo ello induce a pensar que, si bien los valores del coeficiente de absorción determinados según las normas establecidas, resultan de gran interés a la hora de diseñar un edificio de nueva planta, cuando lo que se intenta es reproducir las condiciones acústicas de un edificio existente (auralización), es necesario conocer exactamente los coeficientes de absorción reales de los materiales empleados, de los que en ocasiones, ni se conocen exactamente sus características, ni se corresponden completamente con los materiales ensayados de forma normalizada.

Por todo ello, es necesario disponer de un equipamiento capaz de medir la absorción acústica de un material in-situ. Es precisamente una línea de trabajo en la que se han ensayado distintas propuestas [4,5]. En nuestro caso vamos a utilizar un nuevo medidor de absorción acústica mediante sensores de presión y velocidad [6,7], que permite una gran portabilidad, lo que le hace muy adecuado para los trabajos de campo.

En este trabajo, se muestran los resultados más significativos de los ensayos realizados, y se analiza la influencia de diversos factores en el resultado final, con el objetivo de establecer un protocolo de medida para la determinación del coeficiente de absorción de los materiales ya colocados en sus correspondientes ubicaciones en el edificio.

2. MATERIAL Y MÉTODO

El equipo utilizado se muestra en la fig. 1. Dispone de una fuente esférica situada a unos 26 cm. aproximadamente de una sonda con sensores de presión y velocidad.

Para las medidas la sonda se sitúa a unos 5 mm. de la muestra a medir, perfectamente perpendicular a ella y totalmente estática (se ha comprobado que las medidas obtenidas sin trípode presentaban gran variabilidad).

Para cada ensayo se han utilizado la señal sweep y ruido blanco, y se ha muestreado a frecuencias de 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz.

El equipo lleva asociado un programa informático que ofrece directamente el valor de los coeficientes de absorción.

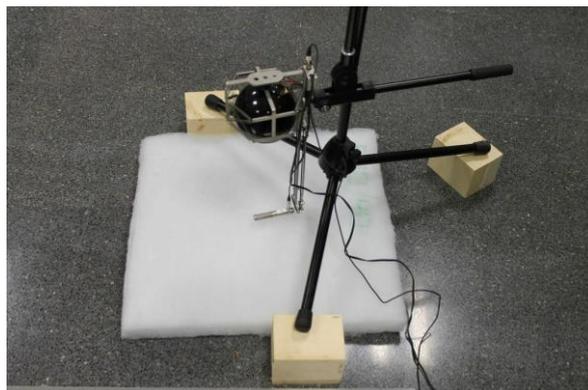


Figura 1: Dispositivo experimental para la medida in-situ de una muestra de poliéster reciclado.

El estudio experimental se ha desarrollado según el siguiente esquema:

- **Validación de la técnica de medida propuesta.** Para ello se han comparado los resultados de absorción obtenidos, tanto con el método propuesto, como con el “gold standard” para 2 muestras de lana de poliéster reciclado [8].
- **Influencia de distintas variables en el coeficiente de absorción.** Se han ensayado muestras de los siguientes materiales:
 - Alfombra sintética de baja absorción sobre soporte de caucho.
 - Placa de aluminio.
 - Placa de aluminio barnizado.
 - Pared de ladrillo con enlucido de yeso.
 - Puerta de madera.
 - Suelo de terrazo.
 - Vinilo.
 - Espuma de baja absorción.
 - Lana de poliéster reciclado: Se han empleado 3 muestras diferentes que, aun siendo el mismo material, tienen diferente densidad y espesor, a las que se nombran como 1400-40, 600-40 y 500-20. Cada muestra se ha identificado con 2 números. El primero indica su densidad en g/m^2 , y el segundo indica su espesor en mm.

De todas las mediciones realizadas, se van a exponer a continuación un resumen de los resultados más significativos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Validación del método de medida.

La figura 2 muestra los resultados obtenidos para dos de las muestras de lana de poliéster reciclado, según el método propuesto y con los ensayos normalizados (la cámara reverberante y el tubo de Kundt).

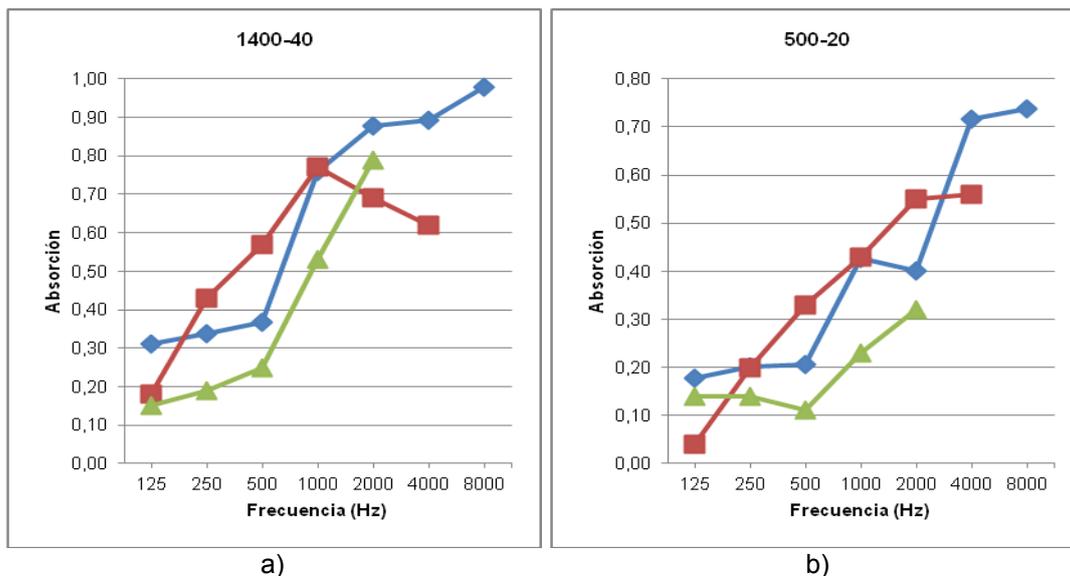


Figura 2: Comparación de los valores de la absorción de dos muestras de lana de poliéster reciclado de distinta densidad y grosor. a) 1440 g/cm² y 40 mm de espesor y b) 500 gr/cm² y 20 mm de espesor), para los tres métodos de medida considerados. En azul, P-U: método propuesto en este trabajo; en rojo, cámara reverberante; y en verde, tubo de Kundt.

Puede observarse cómo los valores obtenidos con el método propuesto (P-U), quedan englobados entre los valores determinados por los dos ensayos normalizados. Únicamente se observa un alejamiento, para frecuencias de 2000 y 4000 Hz, en una de las muestras entre los valores determinados en cámara reverberante y con el método P-U. El mayor aumento de la absorción al aumentar la frecuencia del sonido, que muestran los valores determinados con el método propuesto, está perfectamente justificado por el comportamiento del coeficiente de atenuación con la frecuencia, por tanto la discrepancia obtenida respecto a los valores que indica la cámara reverberante, sólo puede ser debida a efectos propios de esa muestra, ya que no se reflejan en la muestra de menor densidad y espesor.

3.2 Repetibilidad.

Para determinar la repetibilidad del método se ha obtenido la desviación típica obtenida al repetir la medida 3 veces:

Los resultados muestran, para todas las muestras y frecuencias analizadas, valores de las desviación típica menores de 0,01, salvo los que muestra la tabla 1.

Frecuencia	Onda Sweep				Ruido blanco
	Aluminio	Pared yeso	Madera	600-40	Madera
125		0,01	0,05	0,01	0,24
250			0,02		0,01
500					0,01
8000	0,01		0,01		0,01

Tabla 1: Valores de los materiales y frecuencias para los que la desviación típica resultó superior a 0,01. El estudio se ha realizado para la totalidad de los materiales y frecuencias indicados en el epígrafe de material y métodos.

Puede observarse que la repetibilidad del método es excelente, con mayor variabilidad en el

caso de la madera a 125 Hz, únicamente en la medida realizada con ruido blanco.

Esta mayor variabilidad asociada con la medida realizada con ruido blanco, mostró la conveniencia de analizar las diferencias en los valores obtenidos del coeficiente de absorción con los factores que podían influir en la medida como el tipo de señal, la proximidad a bordes, el tamaño de la muestra o el propio montaje.

3.3. Variables influyentes en la determinación del valor del coeficiente de absorción.

3.3.1 Tipo de señal: Ruido blanco vs sweep.

Para cada muestra y frecuencia, se determinó el coeficiente de absorción utilizando 2 tipos de señales de emisión: onda sweep y ruido blanco. El coeficiente de correlación interclase (alfa de Crombach=0.983) muestra la alta concordancia entre los resultados obtenidos con ambos métodos. A pesar de este resultado, hemos querido comprobar si existían materiales o frecuencias para las que esta correlación era menor. Así, la figura 3 muestra el gráfico de regresión de los valores obtenidos con la señal de ruido blanco en función de los obtenidos con la señal sweep. Los coeficientes de la regresión de la recta ajustada, Tabla 2, muestran que no existe error sistemático entre los valores obtenidos con uno u otro tipo de señal (IC95% de la ordenada en el origen contiene el 0) y la proporcionalidad se mantiene (IC95% de la pendientes contiene el 1), pero se observa que las bajas y altas frecuencias quedan ligeramente más alejadas de la bisectriz de la gráfica.

Por ello hemos calculado la discrepancia entre los valores obtenidos con ambos métodos de medida y los resultados se muestran en la figura 4.

	valor	Error típ.	r-Pearson	IC95% Lím inf	IC95% Lím sup
Ord. origen	0,014	0,010	0,966	-0,006	0,035
pendiente	0,992	0,030		0,932	1,053

Tabla 2: Valores de los parámetros de la regresión de los valores del coeficiente de absorción determinados con la señal ruido blanco o sweep

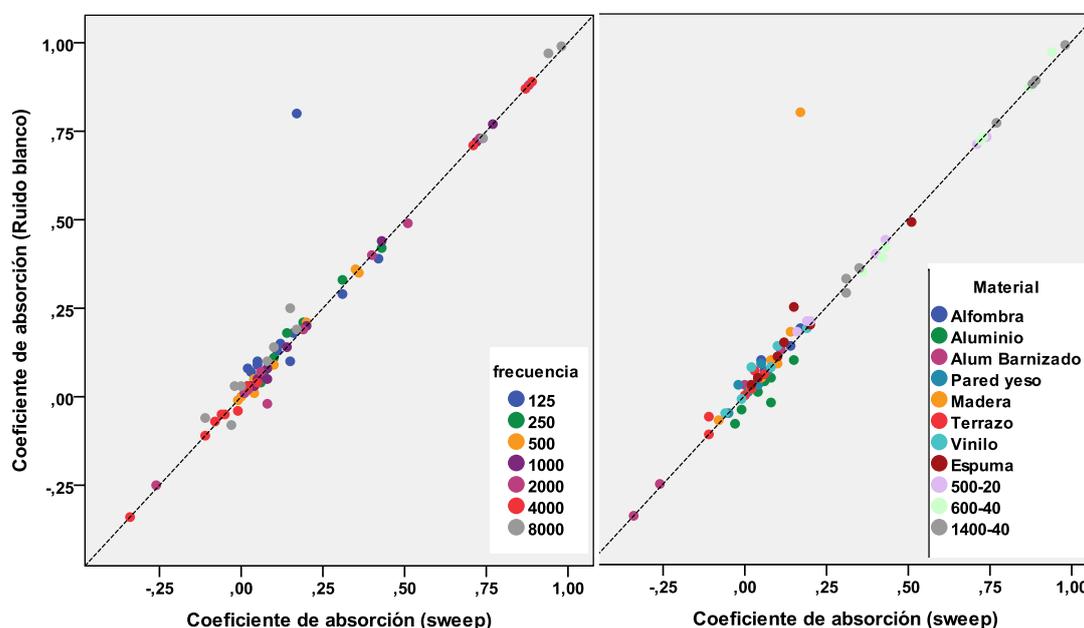


Figura 3: Análisis de la concordancia entre los valores del coeficiente de absorción obtenido con ruido blanco y sweep mostrando en el gráfico de la izquierda los resultados según la frecuencia y en el de la derecha según el material.

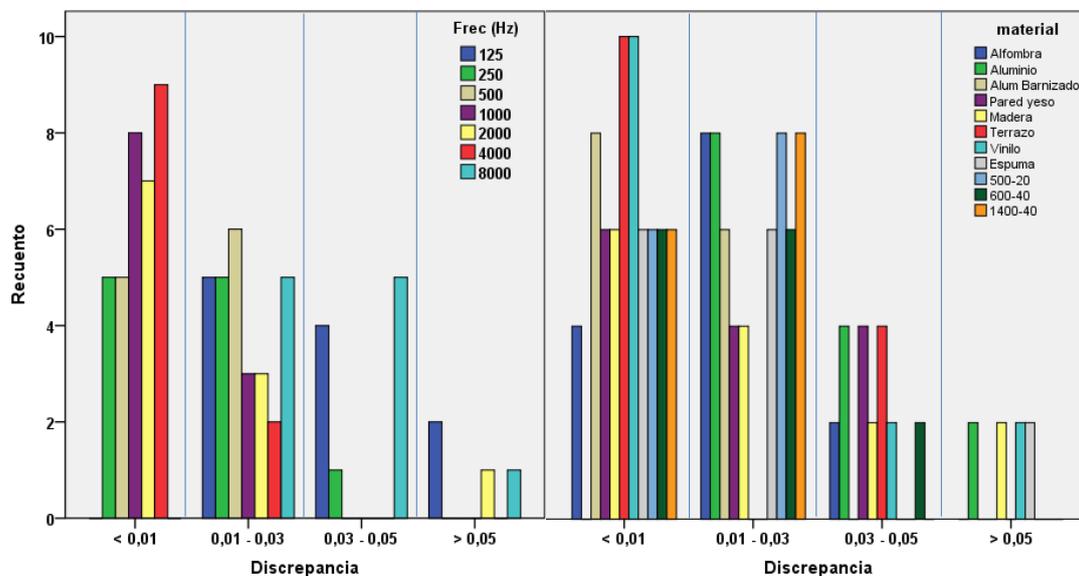


Figura 4: Discrepancia de los valores del coeficiente de absorción en función de la frecuencia y del material absorbente

Puede observarse que las discrepancias menores corresponden a las frecuencias intermedias de 250-4000 Hz, siendo mayores en general para 125 y 8000 Hz. Los materiales como la madera, la alfombra, la espuma y el aluminio son los que presentan mayores discrepancias a las frecuencias anteriormente indicadas.

En principio, todo parece indicar que es indiferente el método de medida, salvo para las frecuencias extremas. Sin embargo, los valores obtenidos con sweep presentan una tendencia más próxima a los proporcionados por los ensayos normalizados más comúnmente utilizados y de uso general que aparecen en tablas y catálogos.

3.3.2. Influencia del tamaño de la muestra. Efecto borde.

Se analizó la influencia que, sobre la medida, podría tener la distancia de la sonda al borde extremo de la muestra, relacionado con el tamaño mínimo de ésta. Para ello, se emplearon muestras de 50 x 50 cm. La figura 5 muestra los diferentes valores de la absorción en función de la distancia de la sonda al borde de la muestra.

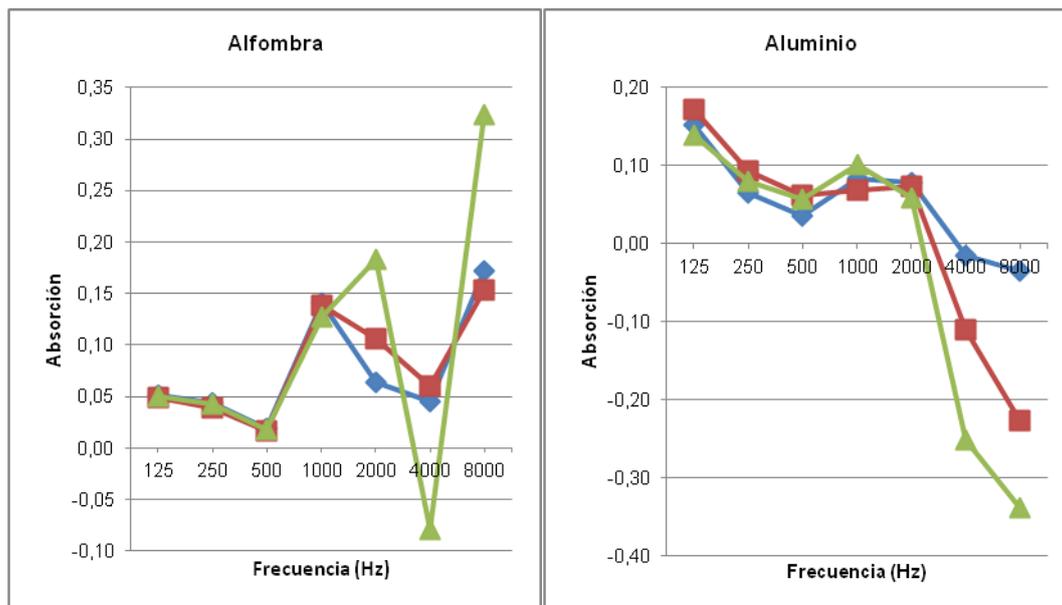


Figura 5. Influencia del tamaño de muestra necesario. En azul, centro de la muestra, en rojo, a 15 cm. del borde; y en verde, a 5 cm. del borde.

Puede observarse que el efecto es muy diferente en materiales reflectantes como el aluminio y sistemas acústicos de baja absorción, como la alfombra sintética. En la alfombra, se aprecia como en el punto más cercano al borde aparece un pico muy negativo (valor erróneo), asociado con esta proximidad al material reflectante de soporte (terrazo), mientras que en el aluminio aparecen valores negativos a altas frecuencias (4000 Hz), que resultan más acusados cuanto más cercana al borde se encuentra la sonda. Por tanto, se aprecia una clara importancia de la posición del punto de medida, y su cercanía al borde de la muestra, lo que podríamos llamar **“efecto borde”**. Además, en algunos materiales reflectantes, como el aluminio, el medidor proporciona valores negativos. Consideramos que esta es una limitación del método para materiales muy reflectantes, pero que puede subsanarse tomando como valor de la absorción, a altas frecuencias, el último valor superior a cero. Esta propuesta no contradice la respuesta de los materiales reflectantes a altas frecuencias, que se mantiene prácticamente constante en bajos valores.

3.3.3 Influencia del tipo de sistema absorbente.

Se ha estudiado la influencia sobre la absorción medida en una muestra que tiene otro material colocado bajo la muestra. Para ello, hemos utilizado las tres muestras de lana de poliéster en dos condiciones: situando una espuma de baja absorción detrás del material, y sin ella.

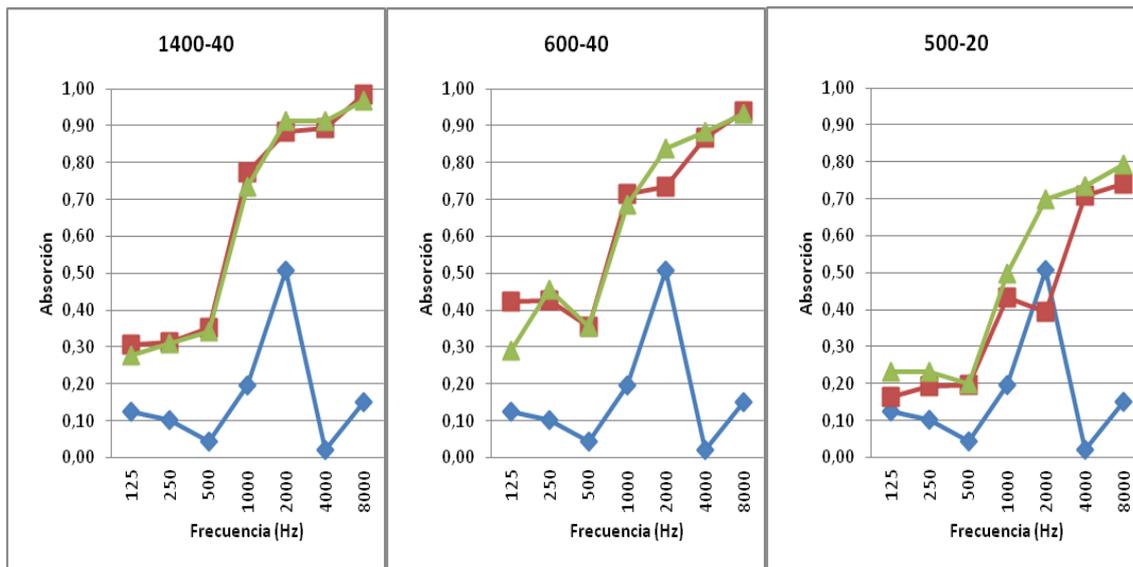


Figura 6. En azul, la espuma de baja absorción, en rojo, la absorción de las muestras medidas sin espuma detrás, y en verde, la absorción de las muestras con la espuma detrás.

Como podemos ver en la figura 6, en general los valores que obtenemos son muy parecidos para cada frecuencia, independientemente de la muestra de que se trate. Sin embargo, vemos un detalle importante a 2.000 Hz.

La muestra 1400-40, la más densa y gruesa, tiene unos valores muy parecidos, midiendo sin espuma y con espuma. Si observamos la muestra 600-40, vemos que a 2000 Hz existe una diferencia mayor, de aproximadamente 10 centésimas. Y si por último analizamos la muestra 500-20, vemos que a 2.000 Hz. la diferencia es de aproximadamente 30 centésimas.

Es decir, cuanto menos denso y más fino es el material, mayor es la influencia del material de soporte sobre el que esté apoyada la muestra.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha discutido la importancia de obtener un método alternativo a los tradicionales para medir el coeficiente de absorción acústica de los materiales, dado que la absorción que se mide depende de múltiples variables.

Como conclusiones más importantes se deben indicar las siguientes:

- Se ha validado el método observando los coeficientes de absorción obtenidos, y comparándolos con los valores de las mediciones mediante cámara reverberante y tubo de Kundt, y se ha comprobado que, a frecuencias medias, los coeficientes mediante la sonda P-U se encuentran entre los de los ensayos normalizados, y siguen la misma tendencia.
- Las medidas obtenidas tienen buena repetitividad con valores de discrepancia del orden de 0,01.
- No hay diferencias apreciables entre las mediciones con onda sweep y con ruido blanco, a excepción de las frecuencias más bajas de los materiales reflectantes, en que se obtienen mejores datos con sweep.

- El “efecto borde” nos lleva a la conclusión de que en las mediciones es importante evitar bordes o esquinas.
- Para materiales reflectantes, en algunas ocasiones, el medidor presenta el inconveniente de que proporciona absorciones negativas a altas frecuencias. En estos casos, se recomienda emplear el último valor positivo obtenido en el espectro de frecuencias.
- Los materiales sobre los que esté soportada una muestra pueden influir mucho en los resultados finales. Si se tiene un material fino y poco denso, el material que se tenga de soporte influirá mucho. En cambio, si el material es grueso y muy denso, la influencia será menor, es decir, a menor densidad y grosor, mayor influencia. Este factor es importante, porque “in-situ”, sólo vemos el material exterior, y no sabemos cómo ha sido instalado, si hay canalizaciones, si la instalación no es homogénea, etc., de ahí la importancia en la determinación de las propiedades absorbentes “in-situ”.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología mediante los proyectos de investigación BIA2008 05485 y BIA2012 36896. Así mismo, agradecemos su colaboración a la empresa Microflown Technologies, a la Universidad Politécnica de Valencia, y a la Línea de Investigación de Acústica Ambiental y Urbanística de la UPV.

6. REFERENCIAS

- [1] UNE-EN ISO 354:2004. Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. (ISO 354:2003).
- [2] UNE-EN ISO 10534-1:2002 Acústica. “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”, Parte 1: Método del rango de onda estacionaria. (ISO 10534-1:1996).
- [3] UNE-EN ISO 10534-2:2002 Acústica. “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”, parte 2, “Método de la función de transferencia” (ISO 10534-2:1998).
- [4] Garai M. Measurement of the sound-absorption coefficient in situ: the reflection method using periodic pseudo-random sequences of maximum length. *Appl Acoust*, 39 (1993), pp. 119–139.
- [5] Takahashi, Y., Otsuru, T., & Tomiku, R. (2005). In situ measurements of surface impedance and absorption coefficients of porous materials using two microphones and ambient noise. *Applied Acoustics*, 66(7), 845-865.
- [6] Lanoye R., Vermeir G., Lauriks W., Kruse R., Mellert V., Measuring the free field acoustic impedance and absorption coefficient of sound absorbing materials with a combined particle velocity-pressure sensor, *JASA*, May 2006.
- [7] Brandão Eric, Tijs Emiel, de Bree Hans-Elias, “PU probe based in situ impedance measurements of a slotted panel absorber”, *ICSV*, 2009.
- [8] Del Rey, R., Alba, J., Ramis, J., Sanchís, V. J. (2011). Nuevos materiales absorbentes acústicos obtenidos a partir de restos de botellas de plástico. *Materiales de construcción*, 61(304), 547-558.