

## ABSORCIÓN ACÚSTICA DE MATERIALES TEXTILES EN RECINTOS DE CULTO

PACS: 43.55.Ev

Álvarez-Morales, L.<sup>1</sup>; Alonso, A.<sup>1</sup>; Girón, S.<sup>1</sup>; Galindo, M.<sup>1</sup>; Suárez, R.<sup>1</sup>; Sendra, J.J.<sup>1</sup>; Giménez, A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción (IUACC), Universidad de Sevilla. Av. Reina Mercedes 2, 41012 - Sevilla, Tel: +34954555979, Fax: +34954557892; e-mails: [calvarez6@us.es](mailto:calvarez6@us.es); [aliciaalonso@us.es](mailto:aliciaalonso@us.es); [sgiron@us.es](mailto:sgiron@us.es); [mgalindo@us.es](mailto:mgalindo@us.es); [rsuarez@us.es](mailto:rsuarez@us.es); [jsendra@us.es](mailto:jsendra@us.es)

<sup>2</sup>Departamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 - Valencia, Tel: +34 963877000, ext: 85240; e-mail: [agimenez@fis.upv.es](mailto:agimenez@fis.upv.es)

### ABSTRACT

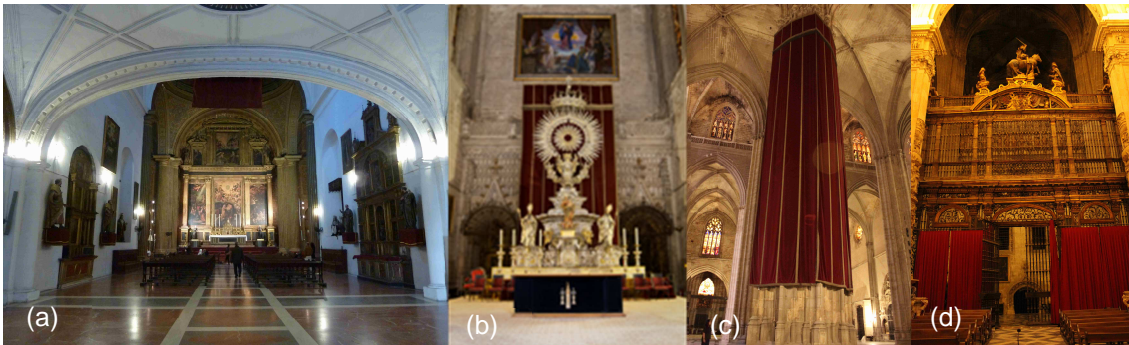
For the great festivities, worship venues are mainly decorated by incorporating textiles, ephemeral solutions which change the acoustic behaviour of these spaces. The aim of this work is the acoustical characterisation of some of these textile decorations by measuring in situ their absorption coefficient, considering different configurations. Two commercial measuring tools have been used in order to determine the absorption coefficient. These systems are based on two calculation methods: subtraction technique and the measurement of both sound pressure and velocity particles.

### RESUMEN

Los recintos eclesiales se ornamentan para las grandes festividades principalmente mediante la incorporación de materiales textiles, soluciones efímeras que pueden modificar el comportamiento acústico de estos espacios. El objetivo de este trabajo es caracterizar acústicamente algunas de estas decoraciones textiles, mediante la medición in situ de su coeficiente de absorción, adoptando diferentes configuraciones. Se han usado dos equipos comerciales de medida que permiten determinar el coeficiente de absorción. Estos equipos se basan en dos métodos de cálculo: técnica de sustracción, y la medida de la presión sonora y la velocidad de las partículas.

### INTRODUCCIÓN

Los recintos de culto de grandes dimensiones suelen tener elevados tiempos de reverberación [1-3] debido a una escasez de absorción de los materiales que los conforman, especialmente a bajas y medias frecuencias. El marcado carácter patrimonial de estos espacios dificulta la posibilidad de intervenir acústicamente sobre ellos, limitándose prácticamente a la búsqueda de soluciones efímeras que aparecen asociadas con frecuencia a diferentes actividades, ritos y festividades religiosas [4].



**Figura 1.** (a) Vista interior de la iglesia de la Anunciación. Diferentes textiles usados en la Catedral de Sevilla: (b) Altar de plata con dosel posterior de terciopelo; (c) disposición de textil pesado sobre columna; y (d) cortina pesada a la entrada de la Capilla Real.

Dentro de la arquitectura efímera, históricamente uno de los recursos más habituales es la utilización de elementos textiles [5], que estratégicamente colocados, desde un punto de vista acústico, y en función de su densidad y disposición, pueden ayudar a reducir el exceso de reverberación. Estos elementos frecuentemente se disponen en arcos y capillas con objeto de segregar estos espacios del espacio principal o sobre columnas y paredes con diferentes grados de fruncido. Además, en las iglesias católicas, muchos de estos textiles son pintados y enmarcados a modo de lienzos con temas de carácter religioso (Figura 1).

Una de las principales dificultades es asignar los coeficientes de absorción de estos elementos textiles, existiendo un importante vacío en la literatura científica debido al desconocimiento de las características acústicas de estos materiales en un recinto eclesial. El objetivo del presente trabajo es caracterizar algunos de estos elementos textiles de uso frecuente en las iglesias mediante el cálculo de su coeficiente de absorción a partir de medidas in situ.

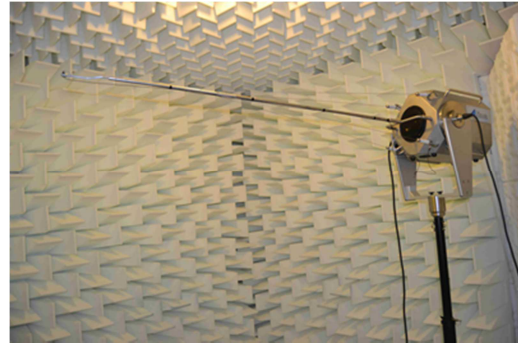
## MONTAJE EXPERIMENTAL

Las medidas se realizaron usando dos equipos de medida in situ (Figura 2). El primero corresponde a la sonda Zircon (SZ) [6], formada por un altavoz y un micrófono separados una distancia constante (1,25 m). La sonda utiliza la técnica de sustracción de Mommertz [7] y inventanado [8]. Necesita dos señales: la respuesta impulsiva en campo libre y la respuesta impulsiva registrada in situ con el micrófono situado cerca de la muestra (25 cm). La respuesta en campo libre se sustrae de la respuesta in situ, cancelando así la contribución del sonido directo. Las reflexiones indeseadas se eliminan de la respuesta impulsiva aplicando ventanas temporales que aíslan la primera reflexión, permitiendo estimar el coeficiente de reflexión de la muestra, a partir del cual se deduce el de absorción. Este equipo permite evaluar el coeficiente de absorción a diferentes ángulos de incidencia sonora. El segundo equipo corresponde a una sonda de impedancia (SPU) [9] que permite estimar la intensidad, la impedancia, el coeficiente de reflexión y de absorción de un material, aplicando varios métodos de cálculo: *mirror source method*, *plane wave surface impedance method* o *intensity extrapolation method*. En este caso se ha optado por el método *mirror source*, ya que sus resultados no se ven afectados por los efectos de las reflexiones en una sala reverberante [10]. Al igual que la sonda Zircon, la sonda SPU está formada por un altavoz y un sensor separados



**Figura 2.** Sonda Zircon (derecha) y sonda de impedancia (izquierda).

una distancia constante (26 cm) que permite medir la presión y velocidad de las partículas de aire cerca de la muestra (5 mm). También se necesita una señal de referencia en campo libre. En ambos casos se ha optado por considerar una incidencia normal a la muestra. Ambos equipos se controlan mediante un software (Dirac 5 para la SZ; propio para la SPU) instalado a un ordenador portátil que funcionan como generador y analizador de señal, conectado a las sondas vía USB pasando por sendas tarjetas de sonido: USB Audio interface + amplificador de potencia B&K 2734 para SZ; amplificador MFDAQ-2 y un acondicionador de señal MFSC-2 de Microflow para la SPU.



**Figura 3.** Medida del sonido directo para la calibración de la sonda Zircon.

Los ensayos se realizaron en la iglesia de la Anunciación de Sevilla (Figura 1 (a)), siguiendo la metodología recomendada para cada equipo [11-14]. Las señales de excitación utilizadas son una señal de barrido exponencial en frecuencia para la SZ y ruido blanco para la SPU. Se controlaron las condiciones de temperatura y humedad relativa para el correcto cálculo de la distancia emisor-receptor. Para la señal de campo libre en la SZ se realizaron medidas en cámara anecoica (Figura 3), para la SPU se tomaron al inicio de cada sesión de medida. Se han analizado tres tipos diferentes de textiles, correspondientes a un tipo de terciopelo ligero (T) de 320 g/m<sup>2</sup>, un damasco bordado (DA) de 227 g/m<sup>2</sup> y un lienzo de algodón (Li).

Los dos primeros textiles, se colgaron sobre una estructura móvil que permite el montaje en dos configuraciones: drapeado y liso (Figura 4(a) y (b)). Además, para comparar diferentes disposiciones, se han ensayado varias distancias de separación entre el textil y la pared de la iglesia, que corresponde a un muro de fábrica de ladrillo, enlucido y pintado. El lienzo de algodón es una pintura al óleo (siglo XVIII) de carácter religioso, de unos 9 m<sup>2</sup>, ubicado en una pared lateral de la iglesia y dispuesta sobre un marco de madera que deja una cámara de aire de unos 5 cm con la pared (Figura 4(c)).



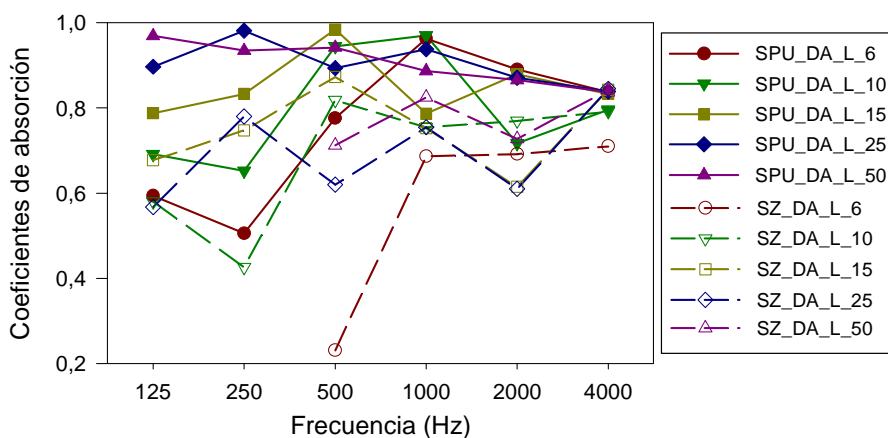
**Figura 4.** Textiles caracterizados: Damasco bordado dispuesto de forma drapeada (a), terciopelo ligero dispuesto de forma lisa (b) y lienzo (c).

## RESULTADOS

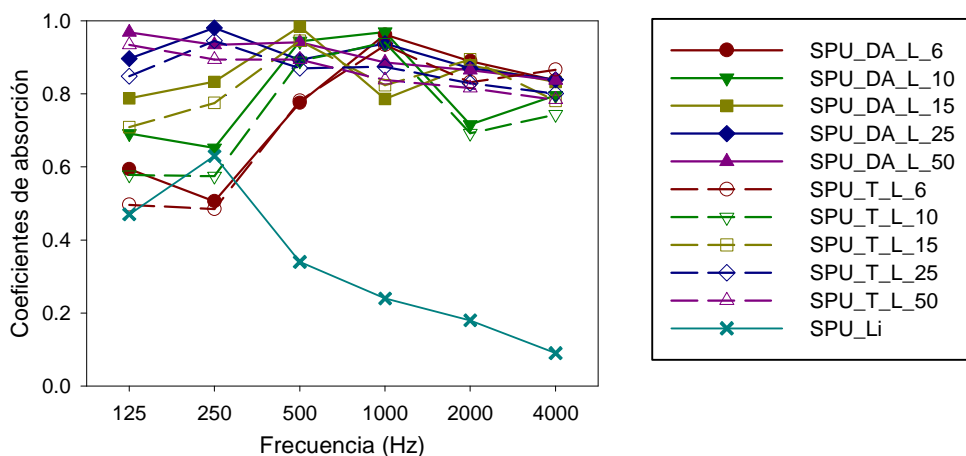
Se han llevado a cabo diversas campañas de medición sobre varios de los elementos decorativos que habitualmente se encuentran en el interior de los espacios eclesiales. La utilización de los dos equipos comerciales ha permitido calcular los coeficientes de absorción, bajo incidencia normal, de estos materiales en función de la configuración adoptada.

Ambos equipos presentan problemas de campo cercano, pues los rangos de trabajo propuestos por los fabricantes son fiables a partir de 200-250 Hz para la SZ y 300 Hz para la SPU. Las características del montaje obligaron a que la altura de la SZ no estuviera suficientemente alejada del suelo, permitiendo que puedan recogerse reflexiones no deseadas. Además, el tamaño de las muestras estaba más comprometido para la SZ, especialmente considerando el ancho, lo que puede introducir efectos de borde. Aunque lo ideal sería comparar los resultados obtenidos con valores contrastados de diversas fuentes y bases de datos, las disponibles no son lo suficientemente explícitas como para señalar conjuntamente el material, su densidad, su disposición lisa o drapeada, el porcentaje de superficie drapeada y la distancia de la muestra a la pared. El terciopelo, aunque ha sido ensayado con más profusión, tampoco ha sido debidamente explicitado en todos los términos anteriormente descritos, si bien es cierto que los valores presentados en forma lisa son notablemente menores a los encontrados en nuestros ensayos.

En la Figura 5 se presentan los valores del coeficiente de absorción, por bandas de octava, medidos con ambos dispositivos para el damasco bordado (DA), instalado de forma lisa (L), y colocado a distintas distancias con respecto a la pared. Para cada material, se representa el valor promedio del coeficiente de absorción medido en varios puntos seleccionados para cubrir correctamente la superficie de la muestra. La variación media entre los puntos de medida del "mallado" es del 3%, siendo inferior al 5% para todas las configuraciones a todas las bandas de frecuencia (los valores más altos en la banda de 125 Hz). Se observa una cierta disparidad entre ambos grupos de resultados, numéricos y de tendencia, especialmente cuando la muestra está muy cerca de la pared o cuando está muy lejos. Ésta es especialmente significativa a bajas frecuencias, bandas en las que los valores del coeficiente de absorción medido con una y otra sonda difieren más del 20%. A medida que aumenta la frecuencia y entramos en el rango adecuado de funcionamiento, los resultados se estabilizan para ambos equipos a medias y altas frecuencias, alcanzando valores entre 0,60 y 1,00 en todas las disposiciones. No obstante, a nivel general los valores de la SZ son menores (aproximadamente un 15%) que los obtenidos con la SPU. Esta sonda, la SPU, será la que utilizaremos para el resto de medidas a raíz de los posibles inconvenientes descritos para la SZ.



**Figura 5.** Coeficientes de absorción en bandas de octava obtenidos al medir con la sonda de impedancia (SPU) y la sonda Zircon (SZ) el damasco bordado (DA), instalado de forma lisa (L) y colocado a diferentes distancias con respecto a la pared (6, 10, 15, 25 y 50 cm).

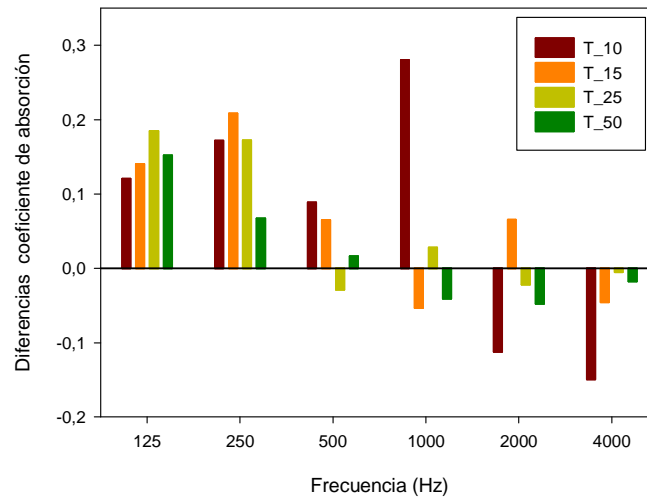


**Figura 6.** Coeficientes de absorción en bandas de octava obtenidos al medir con la sonda de impedancia (SPU) el damasco bordado (DA), el terciopelo (T) instalados de forma lisa (L) y colocados a diferentes distancias con respecto a la pared, y el lienzo de algodón (Li).

Además, la presencia de superficies reflectantes distantes más de 8 cm de la SPU no interfiere con los resultados [10].

Prestando atención a los resultados obtenidos con la SPU, se representan en la Figura 6 los valores de los coeficientes de absorción obtenidos para el damasco bordado (DA) y el terciopelo (T) en su configuración lisa (L) a varias distancias de la pared, así como los obtenidos para el lienzo (Li). Observamos que el comportamiento de los dos textiles es similar. A medida que aumenta la separación del textil con respecto a la pared, es decir, la cámara de aire detrás del material, aumenta la absorción a bajas frecuencias, mientras que a medias-altas frecuencias se reduce la influencia de la cámara de aire, dando lugar a valores más uniformes. Cabe destacar, que cuando la cámara de aire entre el textil y la pared supera los 25 cm, se obtiene un coeficiente de absorción uniforme superior a 0,8. El lienzo muestra un comportamiento completamente opuesto, ofreciendo la máxima absorción a bajas frecuencias, al actuar como un resonador. En general, a la hora de valorar la influencia de la tipología del material, se obtiene menor absorción para el material de mayor densidad (terciopelo) con respecto al de menor (damasco bordado). La existencia de bordados en toda la superficie duplica las capas del tejido pudiendo aumentar su absorción.

A continuación, analizamos ambos textiles en la configuración drapeada, que corresponde a un 50% de su superficie. Aquí, cobra importancia la colocación de la sonda SPU, que mantiene el micrófono receptor a una distancia de 5 mm de la muestra, de forma que unas veces se enfrenta a salientes y otras a entrantes del material. En primer lugar se plantea un valor promedio de todas las medidas, sin embargo los valores obtenidos no permiten inferir ningún resultado claro, pues los coeficientes de absorción no se corresponden con el comportamiento teórico esperado, ya que su absorción debería ser mayor dada la relación entre el área efectivamente ocupada por la cortina y el área de la cortina estirada, que puede dar lugar a incrementos en el coeficiente de absorción incluso de un 50% [15-16]. Sin embargo, para algunas bandas de frecuencia no solo no queda reflejado este incremento, sino que los coeficientes obtenidos con el material fruncido son menores que los obtenidos con el material estirado. A modo de ejemplo, se presenta en la Figura 7 los resultados de las diferencias del coeficiente de absorción por bandas de octava, obtenidas para el terciopelo (en donde los valores negativos corresponden a un incremento de absorción con la configuración drapeada). Esto lleva a concluir que la técnica de medición utilizada con la sonda SPU parece que no es adecuada para caracterizar materiales plegados si el objetivo es presentar valores del coeficiente de absorción del material al completo.

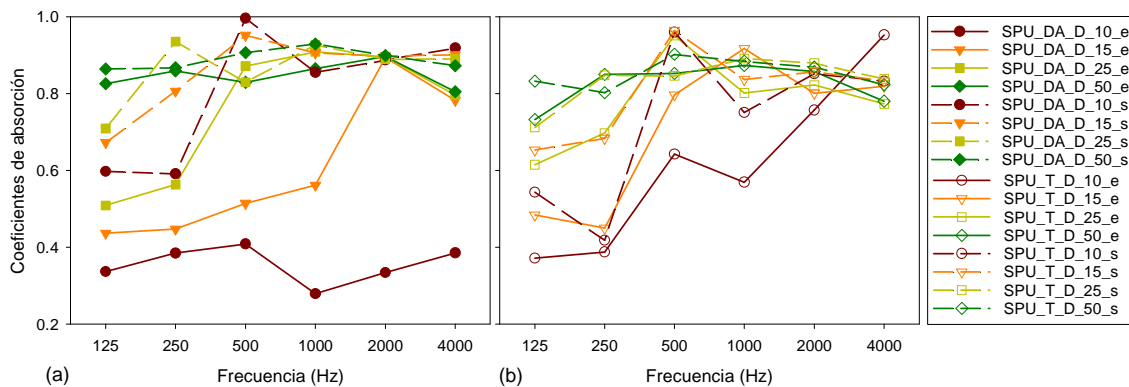


**Figura 7.** Diferencias obtenidas entre los valores promedio de los coeficientes de absorción medidos con la sonda de intensidad (SPU) para el terciopelo (T) en configuración lisa y drapeada, a varias distancias de la pared.

Por último, se analiza la importancia de las medidas realizadas sobre los salientes y entrantes de cada textil. En la Figura 8(a-b) se muestra el coeficiente de absorción frente a la frecuencia para el DA y T diferenciando las medidas localizadas tanto en entrantes como en salientes. Tal como se podía predecir, se observa un notable contraste entre ambos grupos de puntos, un hecho claramente justificado por las condiciones de cada ubicación, donde la llegada de reflexiones sonoras y la creación de cámaras de aire varían de un caso a otro. Cabe destacar la máxima disparidad cuando la estructura que sustenta el tejido se dispone a 10 y 15 cm de la pared. En el caso de que la cámara sea de 50 cm, dichas variaciones no se perciben (inferiores al 5%), dado que no existe superficie rígida tras el textil en ninguno de los casos.

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se ha llevado a cabo un estudio de caracterización acústica de diferentes tipos de textiles utilizados en la decoración festiva de espacios eclesiales, a partir de la obtención de los coeficientes de absorción in situ. Para ello, se han utilizado dos equipos comerciales de medición que se basan en distintas técnicas y métodos de cálculo: la sonda Zircon y la sonda de impedancia.



**Figura 8.** Coeficientes de absorción obtenidos para cada textil; (a) damasco bordado (DA) y (b) terciopelo (T), en la configuración drapeada (D), considerando separadamente entrantes (Línea continua, e) y salientes (Línea discontinua, s).

El análisis de los resultados refleja cierta disparidad entre los valores obtenidos por ambos equipos, especialmente a bajas frecuencias, fuera del rango adecuado de funcionamiento. A nivel general, los valores obtenidos con la sonda Zircon son menores que los obtenidos con la sonda de impedancia, sin embargo, las condiciones de medición no se adaptan a las recomendadas por el fabricante de la sonda Zircon, dadas las características de montaje y existencia de superficies reflectantes.

Por otra parte, cuando los materiales se disponen de forma lisa, a medida que se incrementa la cámara de aire, la absorción de ambos materiales aumenta a bajas frecuencias, mientras que a medias-altas frecuencias se mantiene uniforme con valores de absorción superiores a 0.8.

A la hora de valorar la influencia de la tipología del material, se obtiene menor absorción para el material de mayor densidad (terciopelo) con respecto al de menor (damasco bordado). La existencia de bordados en toda la superficie duplica las capas del tejido pudiendo aumentar su absorción.

Finalmente, cuando el material se dispone de forma drapeada surge la necesidad de crear un mallado de puntos sobre el material con el fin de analizar la influencia de los entrantes y salientes del tejido. Tras la valoración de los resultados se observa un claro contraste entre ambos grupos de puntos, justificado por las condiciones individuales creadas para cada uno, dada la existencia de reflexiones y la cámara de aire. El promedio de los valores refleja disparidad entre los resultados obtenidos y el comportamiento teórico esperado, con lo cual, ante la imposibilidad de medir el material en su conjunto, se concluye que el equipo no es el adecuado para la caracterización de materiales drapeados.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo quieren agradecer a Diego Marín, técnico del CICUS de la Universidad de Sevilla, las facilidades brindadas para la realización de las medidas en la iglesia de la Anunciación. También agradecen al grupo de acústica virtual de la UP de Valencia el préstamo del equipo de medida. Este trabajo ha sido financiado por los proyectos de referencias CEI 2014/731 y BIA2014-56755-P.

## REFERENCIAS

- [1] Lewers T.H., Anderson J. Some acoustical properties of St. Paul's Cathedral, London. *J Sound Vib*, 92 (2), 1984, pp. 285-297.
- [2] Magrini A., Ricciardi P. An experimental study of acoustical parameters in churches. *Int J Acoust Vib*, 7, 2002, pp. 177-83.
- [3] Álvarez, L., Galindo M., Girón S., Zamarreño T. La acústica de las Catedrales Andaluzas. *Proceedings of Tecnia Acústica 2013*, pp. 901-908.
- [4] Alonso A., Suárez R., Sendra J.J., Zamarreño T. Acoustic evaluation of the cathedral of Seville as a concert hall and proposals for improving the acoustic quality perceived by listeners. *J Build Perform Sim*, 7(5), 2014, pp. 360-378.
- [5] Martellotta F., Castiglione M.L. On the use of paintings and tapestries as sound absorbing materials. *Proceedings of the Forum Acusticum 2011*.
- [6] <http://www.acoustics-engineering.com/html/zircon.html>. (Visitada 15/07/2015)
- [7] Mommertz E. Angle-dependent in-situ measurements of reflection coefficients using a subtraction technique. *Appl Acoust*, 46, 1995, pp. 251-263.
- [8] Guidorzi P., Garai M. Signal analysis in the sound absorption measurement procedure: the importance of time subtraction and reference surface corrections. In: *Proceedings of Acoustics 2008 Paris*, pp. 1755–1760.
- [9] <http://www.microflown.com/products/solutions/in-situ-absorption-setup.html>. (Visitada 15/07/2015)

- [10] [http://www.microflown.com/files/media/library/books/microflown\\_ebook/ebook\\_6\\_impedanc\\_e.pdf](http://www.microflown.com/files/media/library/books/microflown_ebook/ebook_6_impedanc_e.pdf) (Visitada 15/07/2015)
- [11] Praticò F.G., Vaianab R., Fedelea R. A study on the dependence of PEMs acoustic properties on incidence angle. IntJPavEng, 2014. DOI: 10.1080/10298436.2014.943215
- [12] Haugen S. Master thesis: Sound Reflection from Building Facades. Department of Electronics and Telecommunications. Norwegian University of Science and Technology, 2013.
- [13] Cats P., Tijs E., Comesana D.F. Exploration of the differences between a pressure-velocity based in situ absorption measurement method and the standardized reverberant room method. Proceeding of Meeting of Acoustics ICA 2013.
- [14] Pérez-Vidal C., Cerdá S., Montell R., Cibrián R., Segura J.; Barba A., Querol L., Giménez A. Metodología para medidas de absorción acústica in-situ mediante sensores de presión y velocidad. Proceedings of TecniAcustica Valladolid 2013, pp. 1366- 374.
- [15] Cox T.J., D'Antonio P. Acoustic absorbers and diffusers. Theory, design and application. 2nd ed. Abingdon, Oxfordshire: Taylor & Francis, 2009.
- [16] Vorländer: M. Auralization, fundamentals of acoustics modeling simulation, algorithms and acoustic virtual reality. Berlin: Springer-Verlag, 2008.