

MODELIZACIÓN ACÚSTICA DE LA IGLESIA DEL CRISTO DEL ROSARIO DE ZAFRA

PACS: 43.55.Gx; 43.55.Ka.

Gómez Escobar, Valentín¹; Martínez de Azcona Naharro, Jesús

¹ Universidad de Extremadura; Escuela Politécnica / Departamento de Física Aplicada. Avda. de la Universidad, s/n 10071 Cáceres, España. Tel.: 34 927257195; Fax: 34 927257203; valentin@unex.es

Palabras Clave: Acústica Arquitectónica, Iglesias, Simulación Acústica

ABSTRACT.

Acoustic modeling of rooms is a very valuable technique in order to propose solutions to improve their acoustic characteristics, anticipating the effect of the different improving solutions before its implementation. In this work a first approach to the acoustic model of the Church "Cristo del Rosario" of Zafra (Badajoz, Spain), is presented. For this purpose a commercial computer software was used and the simulation obtained results were compared with in situ measurements carried out in the church. Further studies and analysis are proposed.

RESUMEN.

La modelización acústica de recintos es de indudable valor de cara a proponer soluciones de mejora de los mismos, previendo el efecto de las mismas antes de su implantación. En este trabajo se presenta la modelización acústica inicial de la Iglesia del Cristo del Rosario de Zafra, con un software informático comercial y la calibración del modelo acústico basándose en medidas de diversos índices acústicos, llevadas a cabo en el recinto. Se proponen futuras líneas de trabajo.

INTRODUCCIÓN

La acústica de un recinto es uno de los parámetros que se ha de tener en cuenta a la hora de analizar su idoneidad para un determinado uso. La acústica y su idoneidad en recintos se estudian dentro de lo que se denomina 'Acondicionamiento Acústico'.

Los primeros estudios de acústica relacionados con la inteligibilidad de la palabra en recintos se produjeron en los teatros al aire libre de las épocas griega y romana. Vitrubio, en su tratado De Architectura "Libro V, capítulo VII" escribe acerca de conceptos relacionados con la acústica de estos teatros. Más adelante, de los teatros abiertos se pasó al estudio de los recintos cerrados donde además del análisis del sonido directo se incorporan los sonidos reflejados con las reverberaciones y los ecos.

Con la propuesta del concepto de ‘tiempo de reverberación’ por Wallace C Sabine a principios del siglo XX, se relaciona la acústica de los recintos con parámetros físicos medibles. Desde entonces, diversos nuevos parámetros físicos se han ido proponiendo así como recomendaciones de los mismos para diferentes tipos de recintos.

En las últimas décadas, este campo de investigación, se ha ampliado con la posibilidad de simular recintos y su acústica con modelos informáticos, modelos que permiten anticipar el comportamiento.

En el caso particular de los templos de culto, en casi todas las culturas han perdurado edificios antiguos, gran parte de ellos de gran valor, que forman parte del patrimonio de las diferentes culturas. Dentro de las diferentes características de estos recintos, las de carácter acústico han sido una más de las caracterizadas en muchos de ellos. A modo de ejemplo, para iglesias españolas en los trabajos de Sendra y Navarro [1] y de Sendra y colaboradores [2] se hace un repaso de la evolución acústica de las iglesias cristianas y del problema de las condiciones acústicas de las iglesias.

La caracterización acústica de las iglesias se suele llevar a cabo mediante medidas acústicas ‘in situ’. Pero acompañar estas medidas mediante modelos de simulación enriquece esta caracterización, ya que estos modelos nos permiten la propuesta de diferentes soluciones que permitan mejorar o adaptar la acústica de estos recintos. Así, en los últimos años, se han publicado diferentes trabajos sobre simulaciones acústicas en iglesias [3-5]

En este trabajo se presentan resultados acústicos de la Iglesia de Cristo de Rosario de Zafra (Badajoz) y se presentan los primeros pasos para la modelización de este templo.

METODOLOGÍA

El recinto en estudio

La Iglesia del Cristo del Rosario (figura 1) se encuentra en Zafra, localidad pacense, de unos 17000 habitantes situada al sureste de la provincia. Esta iglesia situada dentro de un recinto conventual, fue fundada en 1528 por Doña María Manuel de Figueroa y se encuentra situada fuera del antiguo recinto amurallado de Zafra [junto al Arco del Cubo, antigua puerta de entrada a la ciudad desde Badajoz],

Su construcción se realiza de forma lenta finalizándose la iglesia en 1590 con un resultado final muy distinto al inicialmente previsto y dando lugar a un edificio bastante curioso y diferente a otros lugares de culto de la misma época existentes en la zona.

El interior de la iglesia (figura 2) se conforma de tres naves, una central y



Figura 1.- Iglesia del Cristo del Rosario de Zafra (exterior).



Figura 2.- Iglesia del Cristo del Rosario de Zafra (interior).

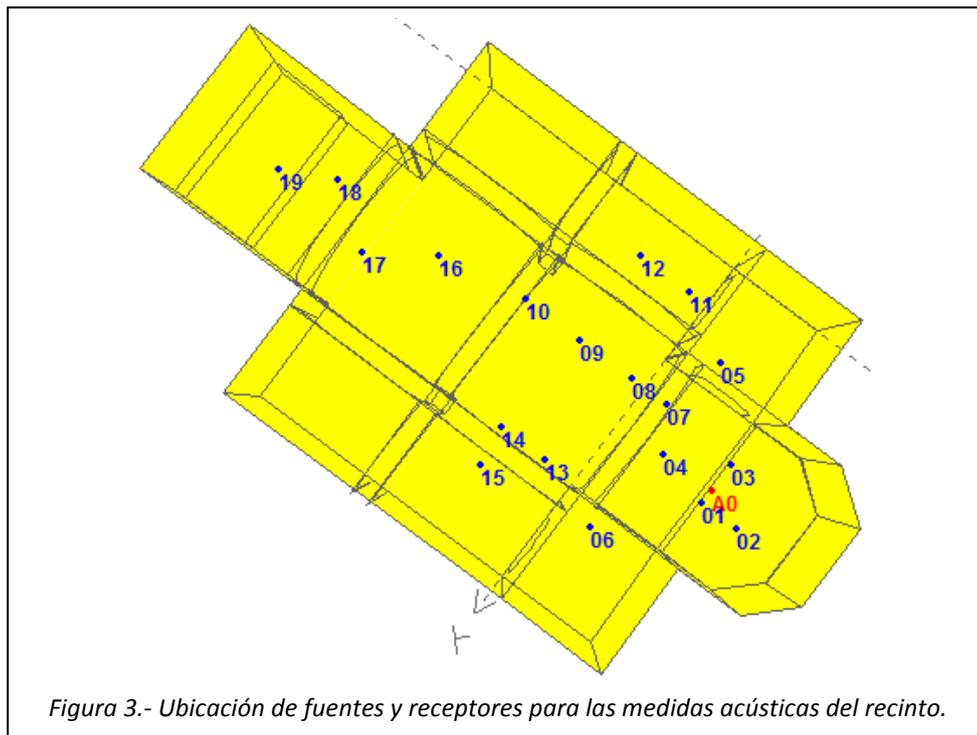
dos laterales, cubiertas por bóvedas y con un retablo inicial que desapareció en 1810 cuando la Iglesia del Rosario fue incendiada por los franceses. Se volvió a levantar de nuevo la iglesia con ayuda de los vecinos del municipio y el obispado de Badajoz tras el abandono del Convento del Rosario por parte de los dominicos.

Actualmente la Iglesia del Rosario dispone de una geometría similar a la original con un uso dedicado a la palabra, misas semanales, y de la música, actuación esporádica de algún coro, además de ser el lugar de entrada y salida de las procesiones más relevantes de la Semana Santa de Zafra.

En lo que se refiere a los materiales del recinto, destaca el suelo que, en la parte de la audiencia, es de tarima de madera. En el altar el suelo es de mármol. Las paredes están pintadas de blanco con los nervios del techo en color gris.

Medidas acústicas

Para la caracterización acústica de la iglesia se siguieron las recomendaciones de Martellota y colaboradores [6]. De las posiciones de fuente medidas, se presentan en este trabajo solamente los resultados correspondientes a la posición que los autores consideran de referencia, situada 1 metro delante del altar. Para esta posición de fuente se eligieron 18 puntos de medida, distribuidos por el suelo del recinto y un punto adicional situado en el coro de la iglesia. En la figura 3 se muestra un esquema de la ubicación de la fuente (A0) y de los receptores en la planta del recinto. El punto 19 corresponde a la ubicación del coro.



La altura de la fuente fue de 1,5 metros, mientras que la del micrófono, dado que en su mayor parte correspondían a lugares en lo que se sientan los feligreses, fue de 1,2 metros.

Los parámetros acústicos medidos fueron emisión, tiempo de reverberación, ruido de fondo y criterios de calidad acústica (EDT, C-80, D-50, STI y RASTI).

Las medidas se realizaron con el sistema de medida Symphonie de la empresa 01dB, utilizándose amplificadores y altavoz omnidireccionales de la empresa Brüel and Kjær 2726. Para las medidas de criterios de calidad acústica, el nivel de presión sonora a un metro (punto 01 en la figura 3) se ajustó a 70 dB.

Modelo de simulación

La simulación se está llevando a cabo mediante el programa de simulación CATT Acoustics, en su versión v9.1b.

En el presente trabajo se presenta un modelo simplificado del recinto.

El recinto en su modelo simplificado, que se muestra en las figuras 3 y 4, se ha definido mediante 50 planos, que 7 materiales diferentes, cuyos coeficientes de absorción y dispersión se muestran en la Tabla 1, coeficientes que han sido seleccionados entre los propuestos en la bibliografía [4, 7-8].

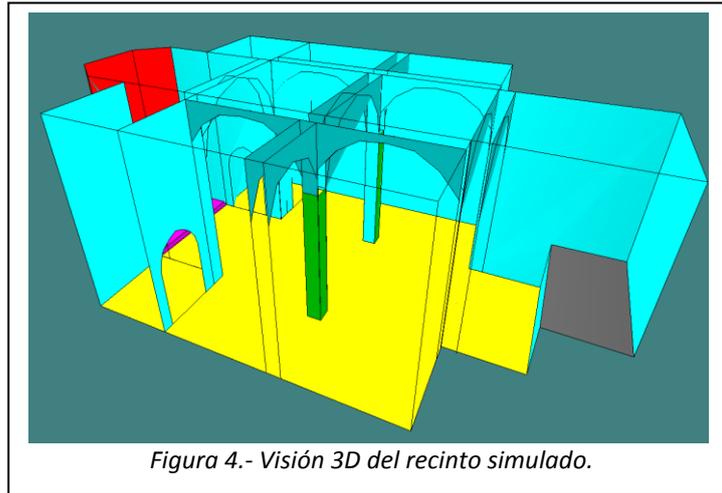


Figura 4.- Visión 3D del recinto simulado.

Material	Coeficientes de absorción (%)						Coeficientes de dispersión (%)					
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000
Tarima	20	15	12	10	10	7	20	25	30	35	40	45
Madera_retablo	9	9	8	8	10	7	30	40	50	60	70	80
Piedra	2	2	3	4	5	5	12	13	14	15	16	17
Enlucido	1	1	2	3	4	3	12	13	14	15	16	17
Mármol	1	1	1	1	2	2	12	13	14	15	16	17
Solería	2	3	3	3	3	2	12	13	14	15	16	17
Enlucido_techo	1	1	2	3	4	3	20	25	30	35	40	45

Tabla1.-Coeficientes de absorción y dispersión asignados a los diferentes materiales del modelo del recinto.

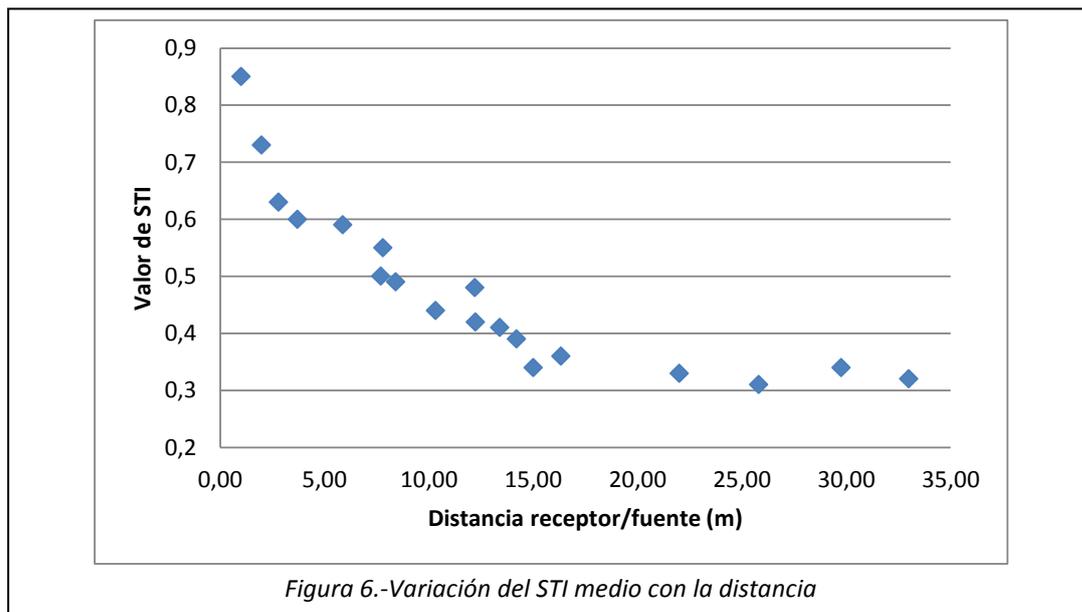
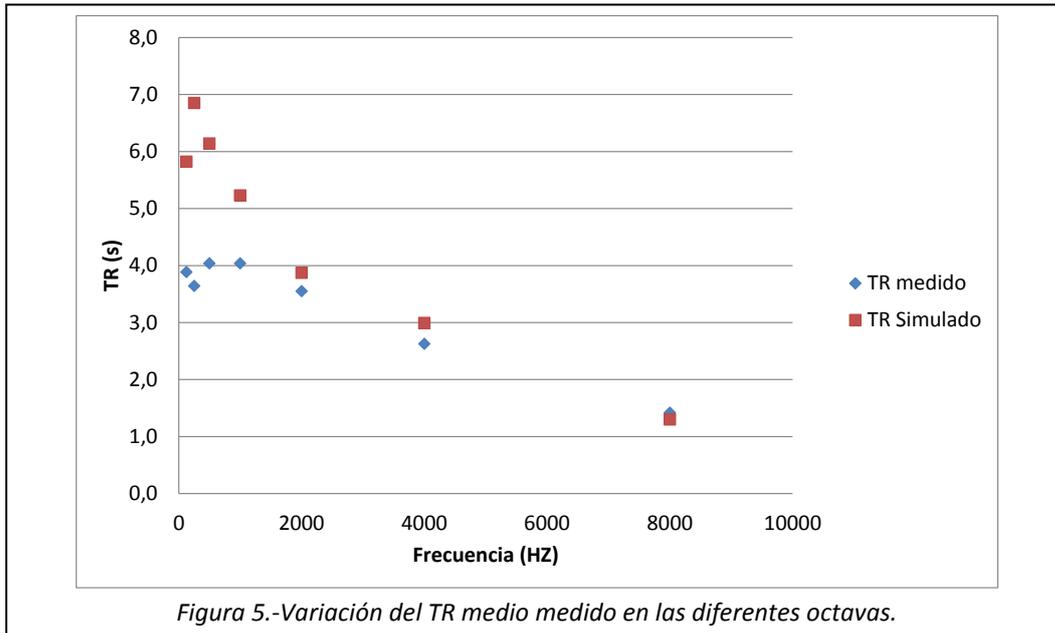
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo se muestran resultados exclusivamente del tiempo de reverberación y del valor de STI.

Medidas acústicas

En la figura 5 se muestra la variación del TR medio por octava medido en el recinto, mientras que en la figura 6 se muestra la variación del valor de STI medido con en cada punto de medida con la distancia entre fuente y receptor.

Como se puede apreciar el tiempo de reverberación se encuentra entre 3,5 y 4 segundos a frecuencias bajas y medias, descendiendo a altas frecuencias. En consonancia con estos tiempos de reverberación, el STI de los diferentes puntos de la sala desciende drásticamente con la distancia hasta valores en torno a 0,3-0,4 que se encuentran dentro de las denominación 'pobre' (entre 0,30 y 0,45) [9].



Resultados de la simulación

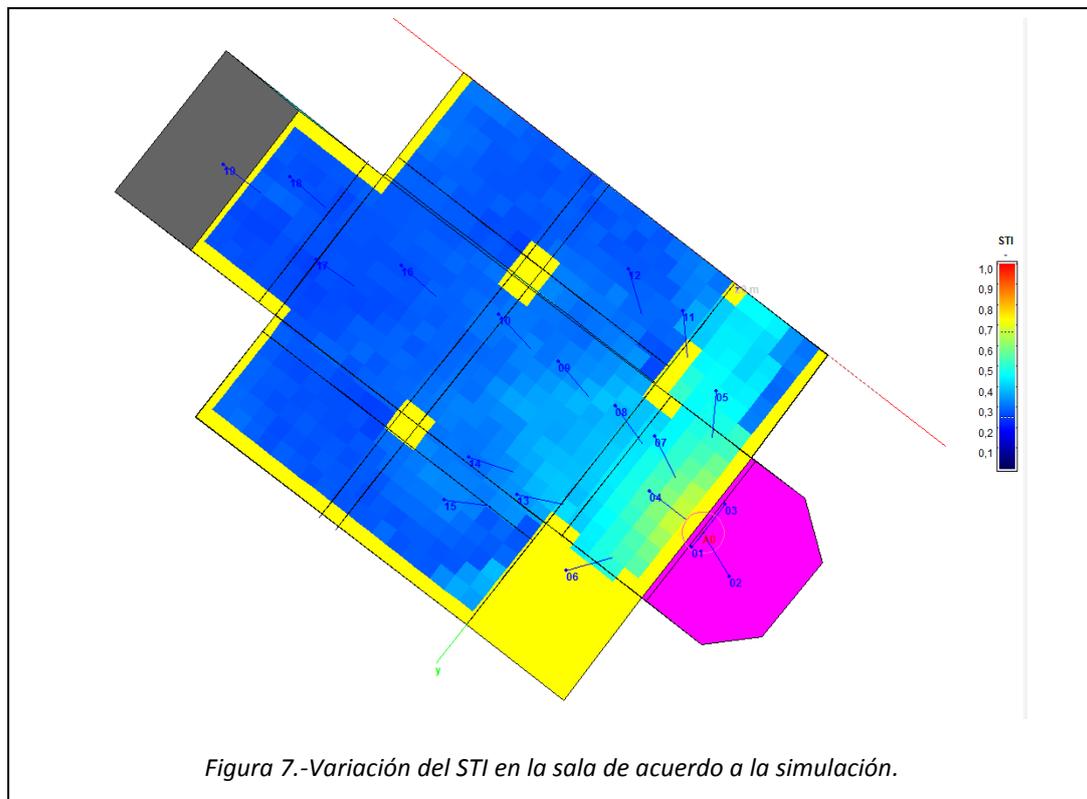
En la Figura 5 se mostraron los tiempos de reverberación obtenidos de la simulación preliminar realizada. En forma numérica, los datos mostrados en esta figura se muestran en la tabla 2.

	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR medido	3,9	3,6	4,0	4,0	3,5	2,6	1,4
TR simulado	5,8	6,9	6,1	5,2	3,9	3,0	1,3
% variación respecto a TR medido	97	284	110	36	2,9	5,1	0,9

Tabla2.-Comparación de valores de tiempos de reverberación medidos y simulados.

Como puede apreciarse, existe una buena concordancia entre los valores de tiempo de reverberación simulados y medidos para las octavas de frecuencia de 2000, 4000 y 8000 Hz (diferencias menores o iguales al 5%). Sin embargo, para valores por debajo de 2000 Hz existen diferencias notables. Las causas más probables de estas altas diferencias a baja y media frecuencia habría que encontrarlas en las limitaciones del modelo simplificado levantado. Así, elementos como bancos, confesionarios, púlpitos, órgano, pequeños retablos laterales, etc., cuya influencia en este rango de frecuencias bajas/medias parece claramente relevante, no se han incluido en el modelo. Adicionalmente, algunos de los coeficientes de absorción y de dispersión utilizados podrían ser mejorables de cara a un comportamiento más cercano a la realidad, es el caso, por ejemplo de la tarima existente en el suelo.

En lo que se refiere a los valores de STI, en la figura 7, se muestra el mapa de variación del STI en el recinto de acuerdo a la simulación realizada.



Como se aprecia en la figura 7, los valores del STI que se obtiene en la simulación están, en su mayor parte, en el rango 0,3-0,4 de forma similar a los resultados obtenidos experimentalmente que se han mostrado en la figura 6.

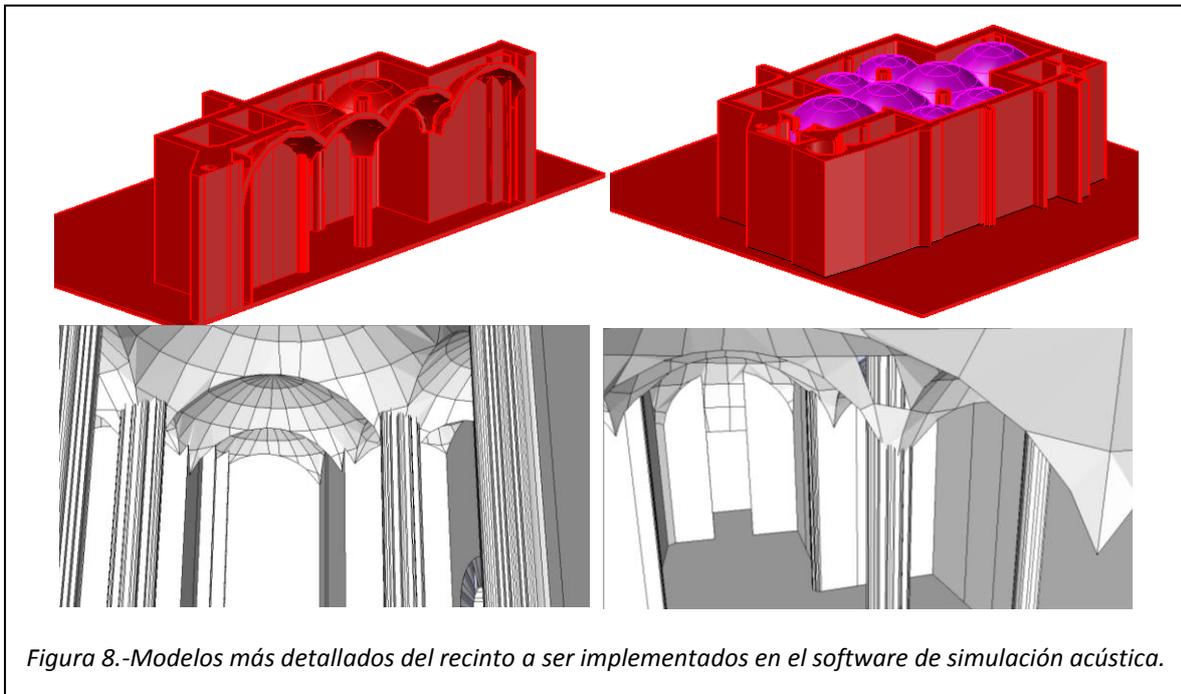
CONCLUSIONES

Los resultados que se han mostrado en las figuras y tablas anteriores muestran que el modelo simplificado que se ha llevado a cabo de la iglesia da resultados buenos en las octavas de frecuencia de 2000 Hz o superiores e, igualmente, da resultados razonables en lo que se refiere a los valores del STI en la sala.

Es indudable que de cara a poder mejorar la concordancia entre valores simulados y los valores medidos se ha mejorado el modelo. Algunas posibles líneas de mejora que se sugieren son:

.- Una asignación más fina de los coeficientes de absorción y de difusión de los materiales que tenga en cuenta los detalles y particularidades de cada una de las superficies del modelo.

.- Un mayor detalle en cuanto a las superficies que delimitan el modelo. En este sentido se está trabajando en modelos más detallados que permitan evaluar con más detalle el efecto de todos los elementos del recinto en el comportamiento acústico. Por ejemplo, el efecto del techo no se tuvo en consideración en el modelo simplificado, ya que se considera plano. En este sentido, se está trabajando en modelos más detallados del local. Algunas imágenes de estos modelos más detallados (elaborados en programa de diseño) se muestran en la figura 8.



Agradecimientos

- Junta de Extremadura, Consejería de Economía e Infraestructuras- Ayuda GR15063.
- Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)/ European Regional Development Fund (ERDF)

REFERENCIAS

- [1] Sendra Salas, Juan J.; Navarro Casas, Jaime. "La evolución de las condiciones acústicas en las iglesias: del Paleocristiano al Tardobarroco". Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción, Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad de Sevilla. 1997.
- [2] Sendra, J. J.; Zamarreño, T.; Navarro, J.; Algaba, J.. "El problemas de las condiciones acústicas en las iglesias: principios y propuestas de rehabilitación". Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción, Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad de Sevilla. 1997.
- [3] Berardi, Umberto; Iannace, Gino; Ianniello, Carmine. "Acoustic intervention in a Cultural Heritage: The chapel of the Royal Palace in Caserta, Italy". Buildings 6, 2016, 14pp.
- [4] Suárez, Rafael; Alonso, Alicia; Senda, Juan J. "Intangible cultural heritage: The sound of the Romanesque cathedral of Santiago de Compostela". Journal of Cultural Heritage 16, 2015, 239-243.
- [5] Álvarez-Morales, L.; Zamarreño, T.; Girón, S.; Galindo, M. "A methodology for the study of the acoustic environment of Catholic cathedrals: Application to the Catedral of Malaga". Building and Environment 72, 2014, 102-115.
- [6] Martellotta, Francesco; Cirillo, Ettore; Carbonari, Antonio; Ricciardi, Paola. "Guidelines for acoustical measurements in churches". Applied Acoustics, 70, 2009, 378-388.
- [7] Alonso, Alicia; Senda, Juan J.; Suárez, R.; Zamarreño, Teófilo. "Acoustical evaluation of the cathedral of Seville as a concert hall and proposals for improving the acoustic quality perceived by listeners". Journal of Building Performance Simulation 7, 2014, 360-378.
- [8] ARAU, Higinio. "ABC de la Acústica Arquitectónica". Edic. CEAC, Barcelona, 1999.
- [9] ISO 9921. Ergonomics. Assessment of speech communication. Geneva [Switzerland]: International Organization for Standardization; 2003.