

## LA ACÚSTICA DE LAS CATEDRALES ANDALUZAS

PACS: 43.55.Gx

Álvarez-Morales, L.; Galindo, M.; Girón, S.; Zamarreño, T.  
Universidad de Sevilla, Dpto. Física Aplicada II, ETS Arquitectura, IUACC  
Avda. Reina Mercedes 2, 41012 Sevilla, España. Tel.: + 34 954555979. Fax: +34 954557892.  
E-Mail: [calvarez6@us.es](mailto:calvarez6@us.es), [mgalindo@us.es](mailto:mgalindo@us.es), [sgiron@us.es](mailto:sgiron@us.es), [teofilo@us.es](mailto:teofilo@us.es)

### ABSTRACT

The growing interest over recent decades in acoustic behaviour of heritage buildings has been triggered by the focus on providing new information about their cultural character. This work describes the acoustic aspects of the main cathedrals of Andalusia, vast places of worship nowadays conceived as multifunctional enclosures capable of housing a large audience. Following a methodology based on measuring the monaural and binaural impulse responses, acoustic parameters are determined, associated with the various uses of each cathedral. The monumental size of these buildings and the characteristics of the materials used in their construction make cathedrals highly reverberant spaces.

### RESUMEN

El interés en el comportamiento acústico de edificios patrimoniales se ha incrementado en las últimas décadas con el objetivo de aportar nueva información sobre su carácter cultural. Este trabajo describe el comportamiento acústico de las principales catedrales andaluzas, grandes espacios de culto concebidos hoy en día como recintos multifuncionales capaces de albergar una gran cantidad de público. Siguiendo una metodología basada en la medición de las respuestas al impulso monoaurales y binaurales, se determinan los parámetros acústicos asociados a los diversos usos actuales de cada catedral. El monumental volumen de estos edificios y las características de los materiales empleados en su construcción, hacen de las catedrales unos espacios altamente reverberantes.

### INTRODUCCIÓN

Fruto de numerosos experimentos psicoacústicos en salas reales y con campos sonoros simulados, actualmente se conoce un número de atributos subjetivos descriptores de la experiencia de escucha del individuo patrón y sus correspondientes medidas objetivas asociadas. La mayoría de estos atributos son reconocidos como calificadores significativos de los aspectos rele-

### EAA SIMPOSIO EUROPEO DE ACÚSTICA AMBIENTAL Y MAPAS DE RUIDO

vantes de nuestra experiencia de percepción de la acústica de salas. Esta situación ha propiciado la estandarización de métodos de medida y muchos de los parámetros objetivos están ahora descritos en un apéndice de la norma redactada por la Organización Internacional de Normalización (ISO) [1], que también trabaja estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en todas las materias de normalización electrotécnica.

Aunque la propagación del sonido en los recintos dedicados a la presentación de la música sinfónica y el discurso público han constituido el objetivo primordial de la acústica de salas y de la práctica acústica, las propiedades acústicas de los espacios religiosos han recibido también gran atención en la comunidad científica internacional desde el pionero trabajo publicado por Raes *et al.* [2]. Desde entonces se han sucedido numerosos trabajos relativos a aspectos acústicos de los espacios de culto de variada índole, señalamos algunos ejemplos: modelos semi-empíricos [3, 4], existencia de espacios acoplados en catedrales [5], tests de preferencia con sujetos [6], medidas de la absorción de los bancos ocupados [7], o de consultoría, rehabilitación y acondicionamiento acústico relativo a iglesias [8], mezquitas [9], y catedrales [10, 11]. En todos estos trabajos se han seguido los mismos procedimientos estandarizados establecidos para salas de concierto, drama y discurso público. En este contexto, destacan también la recopilación de Desarnaulds *et al.*, de más de 150 iglesias suizas de diferentes épocas [12], y el estudio de iglesias portuguesas llevado a cabo por Carvalho [13].

La acústica de las iglesias, y en especial de nuestras catedrales, es una herencia cultural (asociada a su patrimonio inmaterial) que debe ser preservada con el mismo esmero que los aspectos artísticos y arquitectónicos de esta particular categoría de edificios. Sin embargo, la complejidad de los espacios religiosos puede conducir a que los resultados de las diferentes investigaciones acústicas resulten incomparables. Para evitar diferentes aproximaciones al problema y ayudar a obtener datos comparables, un equipo investigador de tres universidades italianas, en el marco de un programa nacional sobre la acústica de los lugares de culto, y apoyándose en los requisitos expresados en ISO 3382-1 para salas de espectáculos, ha analizado estadísticamente los resultados experimentales derivados de su trabajo de campo para una mayor comprensión de la variación espacial de los parámetros acústicos. A partir de este análisis han desarrollado un conjunto de directrices [14], para normalizar las medidas acústicas en iglesias en lo que se refiere a la elección de las posiciones de la fuente, de los receptores y recomendaciones sobre el hardware apropiado dependiendo del propósito de la medida. En relación con esas directrices varios trabajos recientes han analizado la influencia de la localización de la fuente sonora en los parámetros acústicos en la Catedral de Valencia [15], y el efecto de la localización y direccionalidad de las fuentes en relación al estilo de la liturgia [16].

También los umbrales diferenciales especificados en la ISO para los parámetros acústicos han sido determinados con referencia a condiciones acústicas típicas en salas de conciertos y en salas para el discurso oral, cubriendo un rango de tiempos de reverberación desde 0.5 a 2 s. Los resultados de los tests de escucha realizados por Martellotta [17] para grandes recintos reverberantes, sugieren que el umbral diferencial de la claridad,  $C_{80}$ , es  $1,5 \pm 0,1$  dB, independientemente de las variaciones del tiempo de reverberación y del tipo de música, y que para el tiempo central  $T_s$ , su umbral debe ser expresado en términos porcentuales: el 8,5% del valor de referencia.

Con estos antecedentes, en este trabajo se describe fundamentalmente la metodología experimental seguida para el estudio acústico de las principales catedrales andaluzas: Cádiz (CA), Córdoba (CO), Jaén (JA), Málaga (MA) y Sevilla (SE), (Granada está pendiente por problemas burocráticos), lo que implica describir su campo acústico mediante la distribución espacio-temporal de la energía sonora, obtenida a partir del registro monoaural, binaural y tridimensional de las respuestas al impulso (RI) en su interior. El programa de medidas será usado para reunir una detallada descripción de las características acústicas de uno de los más importantes grupos de edificios patrimoniales de nuestra comunidad geográfica, que será usado para mejorar el conocimiento de la propagación del sonido dentro de estos edificios tipológicos, para preservar sus características originales en caso de restauración, y para determinar aproximaciones óptimas para mejorar las condiciones acústicas en estos entornos religiosos en los que la palabra y la música deben conciliarse.

**Tabla 1.** Datos básicos de las catedrales andaluzas analizadas.

Catedral	Estilo	Construcción	Catalogación	Configuración
Cádiz	Barroco, rococó y neoclásico	1722-1853	BIC <sup>a</sup> : 1931	Gran cripta. Tres naves, crucero y girola. Capilla mayor a modo de rotonda. Capillas laterales y en cabecera.
Córdoba	Hispano-musulmán y renacentista	Mezquita: 786-988 Catedral: s. XVI	BIC: 1882 PH <sup>b</sup> : 1984	Mezquita: columnas con arquerías superpuestas. Catedral dispersa: nave central y crucero con capillas en límites. Capilla de Villaviciosa.
Jaén	Renacentista	1555-1724	BIC: 1931	Tres naves de igual altura con crucero que las atraviesa. Capillas laterales y en cabecera.
Málaga	Renacentista	1528-1782	BIC: 1931	Tres naves, con la central de mayor altura y anchura, con crucero que las atraviesa. Capillas laterales.
Sevilla	Gótico tardío	1401-1507	BIC: 1928 PH: 1987 VUEU <sup>c</sup> : 2010	Cinco naves con crucero que las atraviesa. Capillas laterales.

<sup>a</sup>Año de declaración Bien de Interés Cultural; <sup>b</sup>Año de declaración Patrimonio de la Humanidad; <sup>c</sup>Año de declaración Valor Universal Excepcional por la UNESCO

Dentro de la gestión integral del patrimonio cultural acometida por las administraciones responsables, en 1986 se inicia el Avance del Plan de Restauración y Ordenación de Catedrales de Andalucía, en el que se contemplaban diversos aspectos a considerar: conocimiento, intervención y difusión en torno a cada una de las trece catedrales andaluzas. Estos trabajos se incorporan en 1990 al Plan Nacional de Catedrales, en el que se pretenden establecer las necesidades de documentación y estudio que posibiliten el diagnóstico de las catedrales [18], y a partir de aquí se elaboran los Planes Directores de cada uno de los espacios que sirven de base a las actuaciones en los mismos. El conocimiento de su comportamiento acústico, supone la base de una novedosa aportación al carácter patrimonial del recinto, al incorporar la concepción acústica, frente a la óptica tradicional estilístico-funcional de estos espacios, como parte fundamental de su patrimonio inmaterial.

## DESCRIPCIÓN DE LAS CATEDRALES

En casi todos los casos los nuevos espacios cristianos se han erigido, o incluso insertado como en el caso de Córdoba, sobre antiguas mezquitas, incrustándose así en la trama urbana y constituyéndose, a su vez, como elemento centralizador y dinamizador de dicha trama, incluso en nuestros días, facilitando soluciones nuevas a los problemas urbanísticos de los centros históricos que las rodean.

Las catedrales son edificios formalmente complejos, cuyos enormes volúmenes y soluciones estructurales y constructivas, confieren un carácter muy reverberante (ver Tablas 1 y 2) lo que se traduce en unas condiciones acústicas poco adecuadas para los usos litúrgicos y culturales que en ellas se desarrollan. Los materiales utilizados en la construcción, sin ánimo de ser exhaustivos, se repiten, si bien en cada caso aparecen peculiaridades concretas. Normalmente la piedra, de diferentes tipos, se utiliza en muros, columnas y bóvedas; el mármol aparece sistemáticamente en el suelo, algunos retablos de las capillas y parte de las columnas; la madera tiene una presencia repetida en todos los coros, retablos, órganos y portones de acceso y, excepcionalmente, en la cubierta entevigada de la Mezquita en Córdoba; finalmente el enlucido de yeso aparece en algunos casos en capillas y bóvedas. El mobiliario principal

**Tabla 2.** Volumen aproximado y dimensiones características de las catedrales andaluzas analizadas.

Catedral	Volumen aprox. (m <sup>3</sup> )	Longitud (m)	Anchura (m)	Alturas (m)			
				Nave central	Naves laterales	Máxima	
Cádiz	70000	85	60	29	19	46	
Córdoba	Mezquita	134700	179	128	13	---	---
	Catedral	22114	60	40	26	---	35
Jaén	85100	85	60	31	31	47	
Málaga	118500	98	52	37	34	39	
Sevilla	215000	116	76	35	34	40	



**Figura 1.** Vista interior de las cinco catedrales estudiadas.

está constituido por bancos de madera y sillas de diferentes tipos y grados de tapizado, localizados en determinadas zonas de la planta destinadas a la ubicación de la audiencia. Existen diferencias notables en su distribución de uno a otro recinto. En la Figura 1 se presenta una vista interior de los cinco templos analizados.

Los cinco espacios catedralicios responden al denominado “modo español” por P. Navascués [19]. Un patrón que se mantiene y repite en el tiempo bajo diferentes aspectos estilísticos y que se exporta posteriormente a América desde Sevilla. En él se organiza el espacio a través de la secuencia altar-fieles-coro-trascoro-fieles. Esta organización funcional determina en muchos aspectos el comportamiento acústico de estos templos como tendremos ocasión de considerar más adelante.

## **METODOLOGÍA**

Para la descripción del ambiente sonoro de las catedrales católicas del sur de España, a partir de las respuestas al impulso monoaurales binaurales y B-format, es necesario atender a los diferentes usos de cada recinto. Hoy en día, todos ellos, además de los usos litúrgicos, acogen usos musicales, no sólo los asociados a su vertiente religiosa, y otras numerosas actividades culturales, donde la percepción sonora juega un papel importante. En función de estos usos y condicionados por la tipología común de las catedrales estudiadas, se establecen en ellas diferentes zonas. La presencia en éstas de fieles o público en general, estará asociada a dichos usos, existiendo, además, una lógica interdependencia entre las diferentes zonas y la posición de la fuente sonora.

En general las fuentes sonoras analizadas se corresponden con: el altar mayor (FA), los púlpitos (FP), el coro (FC), el órgano (FO) y el trascoro (FT). A nivel particular, cada catedral tiene establecido un calendario a lo largo del año, dentro del ámbito pastoral y litúrgico, que supone en todas ellas la aparición temporal de nuevos focos sonoros y zonas de uso, asociados a los diferentes montajes efímeros (Semana Santa, Corpus Christi, Inmaculada Concepción,...). En el presente estudio se han descartado las numerosas capillas asociadas a estos recintos, otros espacios anejos, a veces de alta significación, así como el análisis de los diferentes sistemas electroacústicos.

Así mismo, se han consignado seis zonas de uso: la Zona A corresponde al altar mayor y presbiterio, donde se ubica el oficiante y ocasionalmente coros y/o agrupaciones musicales; la Zona B corresponde al coro, donde tienen lugar misas que pueden ser acompañadas de pequeños grupos musicales; la Zona C integra los bancos situada en el transepto y en los laterales del altar mayor; la Zona D integra la parte de las naves laterales adyacentes al coro y en las que suelen colocarse bancos; la Zona E hace referencia al trascoro y parte posterior de las naves laterales adyacentes al mismo y donde, ocasionalmente, se celebran misas y actividades culturales y, por último, la Zona F asociada al deambulatorio. En la Tabla 3 se puede ver la relación entre zonas de uso y las fuentes sonoras implicadas en cada catedral. Esta información se ha utilizado para ubicar los puntos receptores considerados para cada posición de fuente.

EAA SIMPOSIO EUROPEO DE ACÚSTICA AMBIENTAL Y MAPAS DE RUIDO

**Tabla 3.** Fuentes sonoras y zonas de uso asociadas a cada catedral. (X= todas las catedrales).

Fuente	Zona A Altar mayor	Zona B Coro	Zona C Transepto + Lat. altar	Zona D Lateral del coro	Zona E Trascoro	Zona F Deambulatorio
FA	X	X	X	X		CA, JA, MA
FP	X	X	X	X		CA, JA, MA
FC		X				
FO	X	X	X	X	X	X
FT					X	

**Tabla 4.** Fuente, receptores y respuestas al impulso registradas en las catedrales.

Catedral	Cádiz	Córdoba	Jaén	Málaga	Sevilla	Totales
Fuentes	7	6	6	5	5	26
Receptores	56	68	68	47	58	281
RI	224	272	272	188	248	1140

La cadena experimental utilizada en las medidas de campo de las catedrales corresponde a la *configuración avanzada* que señala Martellotta en [14] y, además, se ha medido el ruido de fondo para medidas de STI basadas en la respuesta al impulso.

El proceso de excitación, adquisición y análisis de las respuestas al impulso se realizó con el programa WinMLS2004 a través de la tarjeta de sonido Edirol UA-101. Para emitir las señales sinusoidales de barrido en frecuencia, generadas por el software, se usó una fuente dodecaédrica AVM DO-12 junto con un amplificador de potencia B&K 2734, suplementada por un subwoofer Beringher Eurolive B1800D-Pro autoamplificado, con el objetivo de mejorar la relación señal ruido a bajas frecuencias. En cada punto de recepción se registraron las RIs monoaurales mediante un micrófono multipatrón (omnidireccional y figura de ocho) Audio-Technica AT4050/CM5 conectado a una fuente de polarización Sound Field SMP200 de 4 canales. Para el registro de las RIs binaurales se utilizó el simulador de torso de Head Acoustics HMS III (Código 1323) junto con el acondicionador de señal OPUS 01dB (sustituido en algunos casos con el B&K-2829 de 4 canales). Las respuestas B-format se registraron utilizando el sistema MKV de SoundField, aunque en este trabajo no se presentan resultados asociados a ellas. En el caso de Sevilla, la primera en ser medida, no se utilizó el subwoofer, el amplificador de potencia fue el INTER-M 1000 y la fuente de polarización la Earthworks-LAB 1. En la Tabla 4 se resume el trabajo de campo realizado indicando el número de fuentes utilizadas, el de receptores y el número de emisiones de barrido realizadas en cada catedral y en la Tabla 5 se expone la información aportada en la norma UNE-ISO 3382-1 [1] a la que se ha incorporado otras propuestas, algunas de ellas específicamente desarrolladas para su aplicación a grandes espacios reverberantes.

Las medidas se llevaron a cabo con los templos desocupados y en periodo nocturno, para minimizar los efectos del ruido de fondo. Se monitorizaron las condiciones ambientales midiendo las medidas de temperatura y humedad relativa.

**Tabla 5.** Aspectos subjetivos del oyente, parámetro acústico relacionado, bandas usadas para el promedio espectral y umbrales diferenciales en grandes espacios reverberantes.

Aspecto subjetivo del oyente	Magnitud acústica	Promedio espectral (Hz)	Umbral diferencial (JND)
Reverberación percibida	Tiempo de reverberación inicial, EDT (s)	500 - 1000	5% (relativo)
	Tiempo central, $T_S$ (ms)	500 - 1000	8,5% <sup>b</sup> (relativo)
Claridad percibida del sonido	Claridad, $C_{80}$ (dB)	500 - 1000	1,5 dB <sup>b</sup>
	Definición, $D_{50}$	500 - 1000	0,05
Nivel sonoro subjetivo	Fuerza sonora, $G$ (dB)	500 - 1000	1 dB
Envolvente del oyente (LEV)	Nivel sonoro lateral final, $L_L$ (dB)	125 - 1000	1 dB <sup>c</sup>
	Fracción de energía lateral precoz, $J_{LF}$	125 - 1000	0,05
Ancho aparente de la fuente (ASW)	Coefficiente de correlación cruzada interaural precoz $IACC_E$	500 - 2000 <sup>d</sup>	0,075

<sup>a</sup>Promediado aritmético de las bandas de octava, excepto para  $L_L$  que se promedia en energía. <sup>b</sup>Según Martellotta [17]. <sup>c</sup>Según Vorländer [20].

<sup>d</sup>Según Okano *et al.* [21].

## RESULTADOS

En primer lugar, Figura 2, se presentan los valores del tiempo de reverberación,  $T_{30}$ , promediados espacialmente para la posición de la fuente más significativa (FA), frente a la frecuencia, para comparar las características reverberantes de todos los templos. Se puede apreciar que las catedrales de Sevilla y Córdoba son las menos reverberantes, resultado sorprendente en el caso de Sevilla, la de mayor volumen, y no tanto en el caso de la de Córdoba si tenemos en cuenta lo que hemos citado de la cubierta de la Mezquita. Similares volúmenes y tiempos de reverberación presentan las catedrales de Málaga y Jaén, siendo la más reverberante la catedral de Cádiz, especialmente a bajas frecuencias, a pesar de poseer el menor volumen. Los altos valores de todas ellas se justifican por el predominio de la piedra en el interior, y las notables diferencias ponen de manifiesto el distinto comportamiento acústico de ésta, motivado por las diferencias físico-químicas, en función de las canteras de procedencia. En el caso de la catedral de Sevilla, la piedra presenta unas características de porosidad singulares, que le hace ser, a pesar de su volumen, menos reverberante [22].

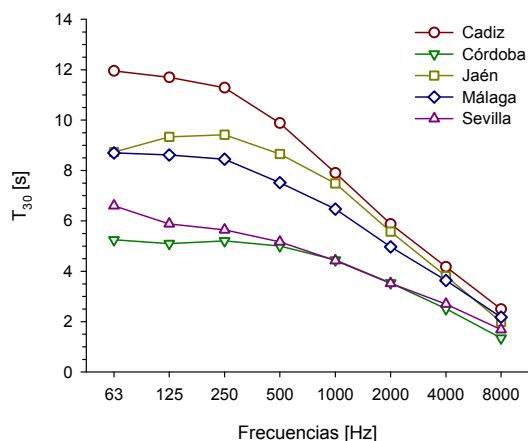


Figura 2. Valores de  $T_{30}$  frente a la frecuencia, promediados espacialmente, para la fuente en el altar (FA) en todas las catedrales.

Con objeto de ampliar la descripción acústica de los espacios, atendiendo a los aspectos subjetivos del oyente, en la Tabla 6, se presentan los promedios espaciales y espectrales para la fuente FA de los parámetros acústicos. De nuevo, la catedral de Sevilla presenta los valores más adecuados respecto de las demás si consideramos el gran volumen que posee. Los resultados de los parámetros se encuentran fuera del rango típico especificado en [1] para salas de conciertos y polivalentes vacías de hasta 25000 m<sup>3</sup>, a excepción de los parámetros de espacialidad que se encuentran en la parte inferior del rango.

En la Figura 3 se muestran los resultados promediados espectral y espacialmente en sus correspondientes zonas de influencia, para cuatro posiciones de la fuente (altar mayor, púlpito, coro y trascoro) en cada catedral y para los 5 parámetros monaurales, EDT,  $C_{80}$ ,  $G$ ,  $L_J$ ,  $J_{LF}$ , y el parámetro de inteligibilidad de la palabra, RASTI. En la representación de EDT destacan los inferiores valores del parámetro para todas las fuentes en las catedrales de Córdoba y Sevilla, y, cómo en el resto de catedrales, en el trascoro el tiempo de reverberación inicial es bastante inferior que para las otras posiciones de la fuente, obteniéndose reducciones de hasta más de 3s, como es el caso de la catedral de Cádiz. Esta mejora de las condiciones acústicas en términos de la reverberación se repite también con valores más elevados de la claridad musical,

Tabla 6. Valores de los parámetros acústicos, promediados espacial y espectralmente, para cada catedral, medidos con la fuente situada en el altar mayor (FA).

Parámetros	Cádiz	Córdoba	Jaén	Málaga	Sevilla
$T_{30m}$ [s]	8,89	4,73	8,07	7,00	4,79
EDT <sub>m</sub> [s]	8,62	4,61	7,54	6,65	3,67
$T_{Sm}$ [ms]	610,46	307,00	514,85	439,75	240,16
$C_{80m}$ [dB]	-8,44	-4,35	-7,13	-6,20	-2,18
$D_{50m}$	0,12	0,25	0,15	0,19	0,32
$G_m$ [dB]	1,87	3,40	2,18	0,09	-5,03
$L_{Jm}$ [dB]	-2,51	-3,27	-3,53	-6,20	-11,44
$J_{LFm}$	0,16	0,15	0,17	0,19	0,12
BR <sub>m</sub>	1,29	1,09	1,16	1,22	1,20
Br <sub>m</sub>	0,57	0,64	0,58	0,62	0,65
IACCE <sub>m</sub>	0,47	0,50	0,47	0,50	-
IACCL <sub>m</sub>	0,11	0,13	0,11	0,11	-
RASTI	0,25	0,37	0,31	0,31	0,44

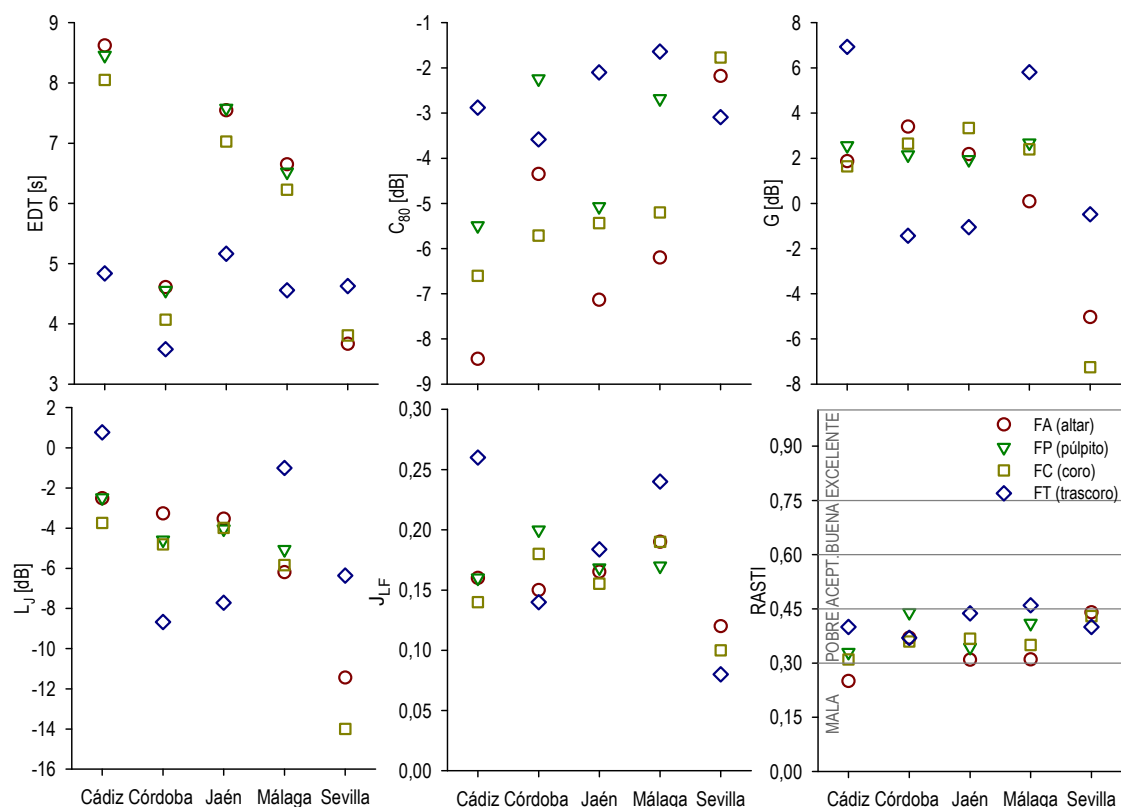


Figura 3. Valores de los parámetros acústicos, promediados espectral y espacialmente para cada fuente, medidos en las cinco catedrales.

fuerza sonora, e impresión espacial en el trascoro, en especial en las catedrales de Cádiz y Málaga que siguen un patrón casi idéntico. La razón de este comportamiento se debe a que el trascoro se configura como un espacio independiente de la catedral en la que las distancias involucradas son más cortas y con menor influencia de sus naves, bóvedas y cúpulas. En los parámetros de espacialidad y fuerza sonora la catedral de Sevilla se encuentra en el rango más desfavorable de todas las catedrales. El índice RASTI se sitúa para todas las fuentes y catedrales dentro del rango de inteligibilidad *pobre* con ligeras variaciones rozando el límite de *aceptable* en el trascoro y púlpito en algunas catedrales.

## CONCLUSIONES

Las catedrales andaluzas son edificios de una complejidad formal extraordinarias erigidos en su mayoría sobre solares de antiguas mezquitas, o incluso incrustadas en ellas. Todas responden al denominado "modo español" y han sido declaradas, al menos, bienes de interés cultural a lo largo de los últimos dos siglos. Sus condiciones acústicas forman parte de su patrimonio inmaterial asociado y deberían ser preservadas al igual que sus aspectos artísticos y arquitectónicos. Con este fin se describe en este trabajo el método experimental seguido para caracterizar el campo sonoro natural de estos espacios, en las posiciones de fuentes-receptores asociadas a sus usos litúrgicos, culturales y musicales. La cadena experimental descrita obedece el procedimiento de normalización expuesto en la UNE-EN-ISO 3382-1:2010, y otras directrices específicas para recintos de culto basadas en amplias medidas de campo. Se presentan también aquí los grandes rasgos de sus tipologías y variables arquitectónicas, así como los descriptores acústicos especificados en la mencionada norma para valorar la percepción de la música y la palabra. Los resultados muestran que aún siendo recintos muy reverberantes pueden establecerse diferencias entre ellos asociadas a sus materiales de acabado y ajuar litúrgicos así como diferencias dentro de los posibles subespacios que los conforman.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo quieren expresar su más sincero agradecimiento a los deanes de las catedrales por facilitarnos el acceso para la realización de las medidas. Este trabajo ha sido financiado por fondos FEDER y por el proyecto I+D+I concedido por el Ministerio de Ciencia e Innovación (ref. BIA2010-20523).

## REFERENCIAS

- [1] UNE-EN-ISO 3382-1:2010: Acústica, Medición de parámetros acústicos en recintos, parte 1: salas de espectáculos. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, (2010).
- [2] A. C. Raes, G. Sacerdote. "Measurement of the acoustical properties of two Roman basilicas," *J. Acoust. Soc. Am.* 25, 925-961 (1953).
- [3] T. Zamarreño, S. Girón, M. Galindo. "Acoustic energy relations in Mudejar-Gothic churches". *J. Acoust. Soc. Am.* 121, 234-250 (2007).
- [4] E. Cirillo, F. Martellotta. "Sound propagation and energy relations in churches," *J. Acoust. Soc. Am.* 118, 232-248 (2005).
- [5] J. S. Anderson, M. Bratos-Anderson. "Acoustic coupling effects in St Paul's Cathedral, London". *J. Sound Vib.* 236, 209-225 (2000).
- [6] F. Martellotta. "Subjective study of preferred listening conditions in Italian Catholic churches". *J. Sound Vib.* 317, 378-399 (2008).
- [7] F. Martellotta, M. D'Alba. "On site validation of sound absorption measurements of occupied pews". *Appl. Acoust.* 72, 923-933 (2011).
- [8] A. M. Bueno, A.L. León, M. Galindo. "Acoustic rehabilitation of the church of Santa Ana in Moratalaz, Madrid". *Arch. Acoust.* 37, 435-446 (2012).
- [9] R. N. Hammad. "RASTI measurements of mosques in Amman, Jordan". *Appl. Acoust.* 30, 335-345 (1990).
- [10] D. L. Klepper. "The distributed column sound system at Holy Cross Cathedral, Boston, the reconciliation of speech and music". *J. Acoust. Soc. Am.* 99, 417-425 (1996).
- [11] R. Suárez; J.J. Sendra, J. Navarro, A. L. León. "The acoustics of the Cathedral-Mosque of Córdoba. proposals for architectural intervention". *Acta Acust. United Acust.* 90, 362-375 (2004).
- [12] V. Desarnoulds, K. Eggenschwiler, S. Bossoney. "Studie zur Raumakustik von Schweizer Kirchen" ("Acoustic study of Swiss churches"). *Proceedings of DAGA, Zürich*, 710-711 (1998).
- [13] A. P. O Carvalho. "Relations between rapid speech transmission index (RASTI) and other acoustical and architectural measures in churches". *Appl. Acoust.* 58, 33-49 (1999).
- [14] F. Martellotta, E. Cirillo, A. Carbonari, P. Ricciardi. "Guidelines for acoustical measurements in churches". *Appl. Acoust.* 70, 378-388 (2008).
- [15] R. Montel, A. Gimenez, S. Cerda, J. Segura, R.M. Cibrian, A. Barba. "Influencia de la localización de la fuente sonora en los parámetros acústicos en la Catedral Metropolitana de Valencia". *Proceedings de Acústica 2012 Évora, Portugal*.
- [16] Y. Soeta, K. Ito, R. Shimokura, S. Sato, T. Ohsawa, Y. Ando. "Effects of sound source location and direction on acoustic parameters in Japanese churches". *J. Acoust. Soc. Am.* 131, 1206-1220 (2012).
- [17] F. Martellotta. "The just noticeable difference of center time and clarity index in large reverberant spaces". *J. Acoust. Soc. Am.* 128, 654-663 (2010).
- [18] José Cuaresma-Pardo. "Sedes catedralicias en Andalucía: estado de la cuestión 1984-2004. PH, 47" (disponible en <http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/issue/view/46#.UdRdtG3BKd9>)
- [19] P. Navascués-Palacio. "Catedrales de España". Barcelona: Ed. Lunwerg; 2010.
- [20] M. Vorländer. "Auralization, fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms and acoustic virtual reality". 1st ed. Berlin: Springer-Verlag; 2008.
- [21] T. Okano, L.L. Beranek, T. Hidaka. "Relations among interaural cross-correlation coefficient (IACCE), lateral fraction (LFE), and apparent source width (ASW) in concert halls". *J. Acoust. Soc. Am.* 104, 255-265 (1998).
- [22] R. M. Esbert, J. Ordaz, J. J. Alonso, V. G. Ruiz de Argandoña, M. Montoto, R. Marcos, L. Valdeón. "Petrophysical characterization and weatherability of the stones of the Seville cathedral". *Materiales de Construcción* 38, 5-23 (1988).