

ÍNDICES ACÚSTICOS GLOBALES EN GRANDES ESPACIOS DE CULTO

PACS: 43.55.Gx

Girón, S.; Zamarreño, T.; Álvarez-Morales, L.; Galindo, M.
Universidad de Sevilla, Dpto. Física Aplicada II, ETS Arquitectura, IUACC.
Avda. Reina Mercedes 2,
41012 Sevilla, España.
Tel.: + 34 954557129. Fax: +34 954557892.
E-Mail: sgiron@us.es, teofilo@us.es, calvarez6@us.es, mgalindo@us.es.

ABSTRACT

This paper presents a method to synthesize the acoustic assessment of large reverberant places of worship for two types of sound stimuli: music and speech. The proposed synthetic indices are derived from the spectrally and spatially averaged values of various acoustic parameters, related to the attributes of perceived sensation and widely considered in other acoustic studies. Partial indices associated with each parameter are determined by comparing its average value with its range of optimum values and its environment of acceptable values that are set according to their respective differential thresholds (JND). The methodology implemented is applied to the acoustic assessment of five cathedrals of Andalusia.

RESUMEN

En este trabajo se presenta un método para sintetizar la valoración acústica de grandes espacios reverberantes de culto para dos tipos de estímulos sonoros, la música y la palabra. Los índices sintéticos propuestos se obtienen a partir de los valores promediados espectral y espacialmente de seis parámetros acústicos, relacionados con los atributos de la sensación percibida y ampliamente considerados en otros estudios acústicos. Los índices parciales asociados a cada parámetro se determinan comparando el valor medio de éste con su rango de valores óptimos y entorno de valores aceptables que se fija en función de los umbrales diferenciales (JND) respectivos. La metodología implementada se aplica a la valoración acústica de cinco catedrales de Andalucía.

INTRODUCCIÓN

La acústica de iglesias ha cobrado una creciente importancia desde hace algunas décadas por parte de la comunidad científica. Este interés se centra en varios aspectos: el valor histórico inmaterial del sonido de los espacios que está ligado a su creación arquitectónica; a las adaptaciones efímeras de estos recintos a eventos culturales que se comparten con fines litúrgicos; o finalmente como elementos de comprensión básica de la propagación del sonido

en estos a veces enormes volúmenes de gran complejidad espacial. Diversas campañas de medidas en iglesias de variada tipología y tamaño en varios países han dado lugar a un nutrido conjunto de resultados en este campo [1-4].

La norma UNE-EN-ISO 3382-1 [5] describe el procedimiento de medición, la instrumentación y procedimientos de obtención de los parámetros acústicos para la evaluación multidimensional de una sala de conciertos o espectáculos. Existen también métodos encaminados a representar la calidad acústica de una sala de conciertos mediante un único valor numérico; en este contexto destacan el método propuesto por Ando [6], y la adaptación del mismo llevada a cabo por Beranek [7]. La determinación de la calidad acústica mediante un único valor exige previamente seleccionar los parámetros acústicos estadísticamente independientes representativos de la sala. Los recintos de culto presentan características acústicas objetivas y subjetivas diferentes de las salas de conciertos y teatros, ya que no verifican las expectativas previstas en modelos de estos recintos, como han puesto de manifiesto varios autores [8, 9], y un tema reciente de investigación es la formulación de índices sintéticos para la acústica de estos edificios [10,11].

Inspirado en el estudio de Berardi [11], con modificaciones, en este trabajo se presenta un método para sintetizar la valoración acústica de grandes espacios reverberantes de culto para dos tipos de estímulos sonoros, la música y la palabra.

METODOLOGIA

La síntesis de los parámetros acústicos de salas en un solo índice requiere seleccionar los parámetros independientes y combinarlos teniendo en cuenta su importancia relativa. Partiendo de los parámetros acústicos validados en la ISO 3382-1 [5] y medidos en los espacios catedralicios, en este trabajo, siguiendo a Berardi [11], se proponen dos índices sintéticos uno para la *música* y otro para la *palabra* considerando, 5 características acústicas para valorar el sonido: *reverberación*, *calidad sonora*, *espacialidad*, *fuerza sonora* y *claridad*. En el trabajo de este autor la primera característica está representada por el parámetro EDT [12], la calidad sonora (que propondremos cambiar por *calidez sonora*) se expresa a través de BR y T_s , la espacialidad a través de dos parámetros J_{LF} e $IACC_E$, la fuerza sonora por G y la claridad por C_{50} . Todos estos parámetros están definidos en la norma ISO [5] a excepción de Bass Ratio: $BR = (T^{125Hz} + T^{250Hz}) / (T^{500Hz} + T^{1kHz})$ que ha sido introducido por Beranek [7].

En la muestra de iglesias a las que Berardi aplica su índice todos los parámetros acústicos mencionados son estadísticamente independientes. Sin embargo, en el caso de las catedrales que nos ocupa, el estudio de las correlaciones considerando los valores medios de los parámetros anteriores, medidos en condiciones de no ocupación [13], para las distintas posiciones de las fuentes y receptores asociados (ver Figura 1), muestran que existe una fuerte dependencia entre los parámetros EDT y T_s ($r^2=0.94$) (ver Tabla 1). Los autores del presente trabajo obtuvieron también conclusiones semejantes, relativas a estos dos mismos parámetros, en un conjunto de iglesias Gótico-Mudéjares [14]. En la Figura 2 se muestran, para mayor claridad, las correlaciones más fuertes encontradas, que tienen lugar entre los parámetros C_{80} y C_{50} Figura 2(a), la cual era previsible y corresponde a dos parámetros que están uno en el

Tabla 1. Coeficientes de correlación lineal (r^2) entre los parámetros analizados. En negrita valores de $r^2 > 0.6$.

	EDT	BR	T_s	J_{LF}	$IACC_E$	G	C_{80}	C_{50}
EDT	---	---	---	---	---	---	---	---
BR	0.2683	---	---	---	---	---	---	---
T_s	0.9426	0.2518	---	---	---	---	---	---
J_{LF}	0.0483	0.0758	0.0229	---	---	---	---	---
$IACC_E$	0.0882	0.0030	0.0553	0.2016	---	---	---	---
G	0.0219	0.0032	0.0148	0.3149	0.0051	---	---	---
C_{80}	0.5537	0.0713	0.7583	0.0006	0.0066	0.0114	---	---
C_{50}	0.4014	0.0569	0.6217	0.0018	0.0006	0.0159	0.9395	----

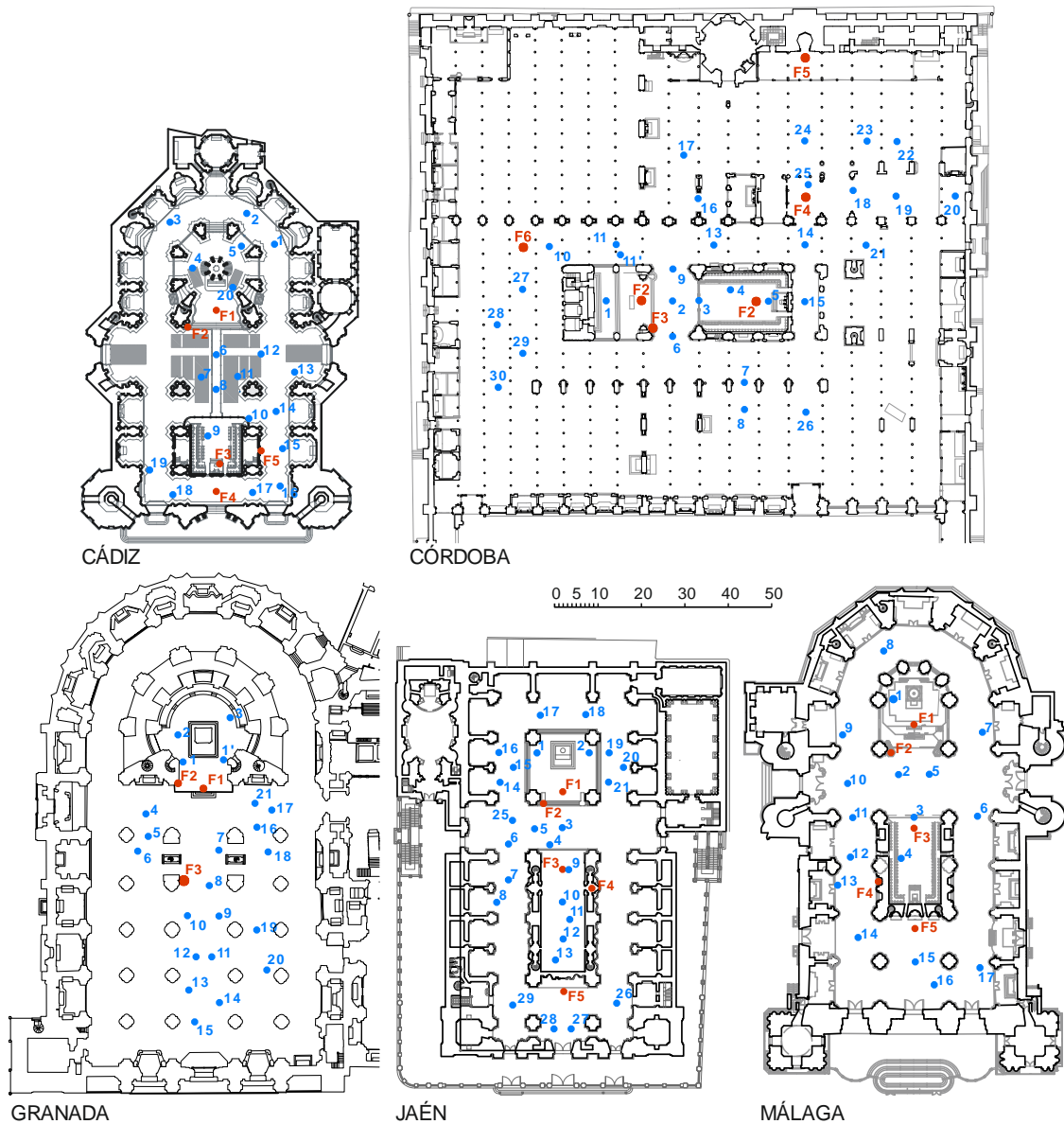


Figura 1. Planta de las cinco catedrales estudiadas a la misma escala, mostrando las posiciones de la fuente (F) y de los receptores (numerados).

grupo de evaluación de la música y el otro de la palabra, y en la Figura 2(b) entre los parámetros EDT y T_s .

En consecuencia, se propone suprimir el parámetro T_s de la lista de parámetros ortogonales descriptores de la calidad acústica y distribuir el peso que Berardi propone para él en la ecuación del índice global, entre el parámetro BR, en su mayor parte, y los parámetros de claridad. De este modo el aspecto que Berardi denomina calidad sonora, pasaría a ser *calidez sonora*, que es el aspecto que valora directamente BR. También, a diferencia de Berardi, en este trabajo, para la valoración de la claridad, se ha optado por utilizar C_{50} para el índice de la palabra y C_{80} para la música. En el primer caso, su relación con la inteligibilidad permite utilizar la escala de calificación de Marshall [15] para determinar el índice parcial asociado. Para obtener el índice parcial asociado a la claridad musical a partir de C_{80} se ha adaptado la escala de Kosala [16]. Vale la pena también comentar que aunque Okano et al. [17] han encontrado una fuerte correlación entre el parámetro binaural $IACC_E$ y J_{LF} en salas de conciertos, en los

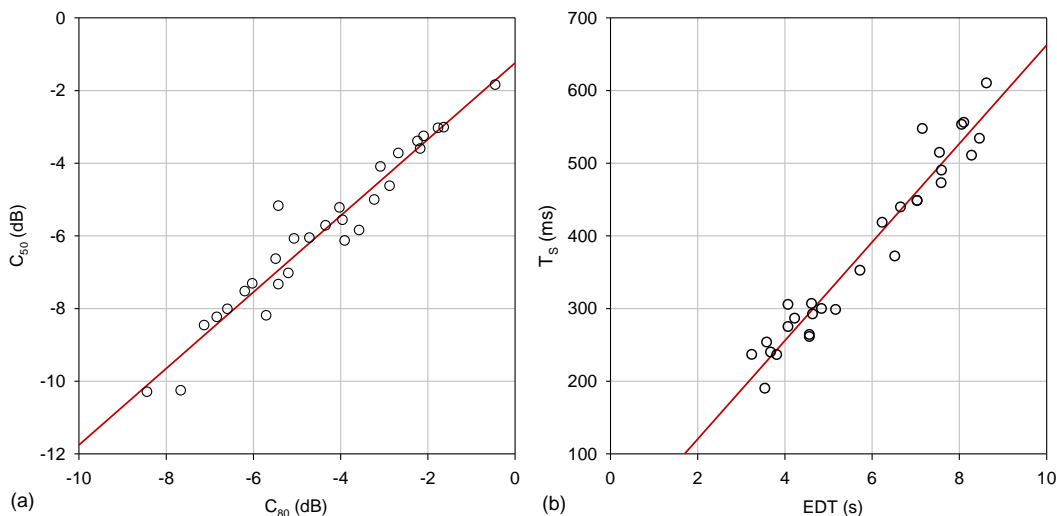


Figura 2. Regresión lineal, (a) entre C_{50} y C_{80} y (b) entre T_s y EDT, obtenidas en las catedrales andaluzas.

recintos religiosos no se observan estas correlaciones, como ha señalado Berardi en las iglesias italianas y en nuestro caso se muestra en la Tabla 1. Por esta razón se incluyen ambos parámetros para evaluar las características de espacialidad de los espacios de culto.

Los valores utilizados de los umbrales diferenciales, JND, de estos parámetros son los de la norma UNE-EN-ISO 3382-1 [5], el propuesto por Martellotta [7] para C_{80} en grandes espacios reverberantes y el de Marshall para C_{50} [15]. Los factores de ponderación de cada índice parcial para obtener el índice global para la música y la palabra son los mismos que los propuestos por Berardi, salvo lo ya señalado anteriormente a la supresión de T_s y al reparto de su peso entre BR y la claridad.

Se han adoptado también los mismos valores óptimos de los parámetros, considerando un rango ampliado, por arriba y por abajo si corresponde, incrementado en 1 JND: $P_{opt} \pm JND_j$. Para los valores de los parámetros dentro del rango óptimo ampliado el índice parcial i_j , correspondiente al parámetro acústico j , vale 1. Fuera de este rango ampliado, el valor del índice parcial varía linealmente desde 1 hasta 0, de modo que el índice se anula cuando el parámetro disminuye/aumenta en 7 JND_i. La excepción a esta regla son los parámetros de lateralidad J_{LF} e $IACC_E$. En este caso el límite inferior de la variación lineal, para evitar incongruencias (valores positivos del índice parcial para valor nulo del parámetro), se considera que el índice parcial vale 0 cuando el valor del parámetro es 0. Estas consideraciones se resumen en la Tabla 2 y en el conjunto de ecuaciones mostradas en el Apéndice, que permiten calcular los índices parciales de cada parámetro, para la música y la palabra, y cuya representación conjunta se muestra en la Figura 3. A partir de los índices parciales calculados, el índice total se obtiene de acuerdo a la expresión $P = \sum_{j=1}^6 i_j a_j$, donde a_j se refiere al peso de cada parámetro mostrado en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de JND, pesos, y rangos óptimos para la palabra y la música de cada uno de los parámetros acústicos. Se indican las frecuencias utilizadas para evaluar el valor promedio espectral.

	EDT (s) (500-1k)	BR	J_{LF} (125-1k)	$IACC_E$ (500-2k)	G (dB) (500-1k)	C_{80} (dB) (500-1k)	C_{50} (dB) (500-1k)
JND _i	5%	0.1	0.05	0.075	1 dB	1.5 dB	1.5 dB
a_j	0.25	0.15	0.15	0.10	0.15	0.20	0.20
Valor óptimo para la música	2.1-4.2	1.10	> 0.25	> 0.35	> 3	>0	---
Valor óptimo la palabra	0.8-1	1.05	> 0.2	> 0.35	> 0	---	>0

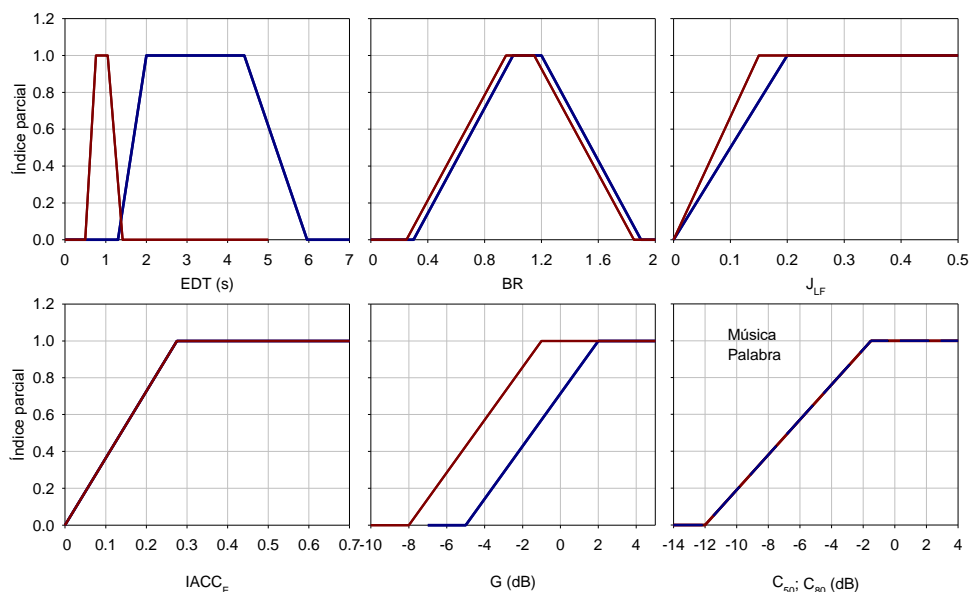


Figura 3. Representación gráfica de los seis índices parciales para la música y la palabra.

Tabla 3. Valores promediados espectral y espacialmente de los parámetros acústicos, valores calculados de los índices parciales asociados, para la música y para la palabra, asociados a cada posición de la fuente y para todas las fuentes, en cada catedral.

	F	nR	EDT	\hat{i}_{EDTm}	\hat{i}_{EDTp}	BR	\hat{i}_{BRm}	\hat{i}_{BRp}	J_{LF}	$\hat{i}_{J_{LF}m}$	$\hat{i}_{J_{LF}p}$	IACC _E	$\hat{i}_{IACC_{Em}}$	$\hat{i}_{IACC_{Ep}}$	G	\hat{i}_{Gm}	\hat{i}_{Gp}	C ₈₀	$\hat{i}_{C_{80}m}$	C ₅₀	$\hat{i}_{C_{50}p}$
CÁDIZ	1	14	8.62	0	0	1.29	0.87	0.80	0.16	0.80	1	0.47	1	1	1.87	0.98	1	-8.44	0.34	-10.29	0.16
	2	11	8.46	0	0	1.29	0.87	0.80	0.16	0.80	1	0.55	1	1	2.56	1	1	-5.49	0.62	-6.63	0.51
	3	7	8.05	0	0	1.29	0.87	0.80	0.14	0.70	0.93	0.48	1	1	1.64	0.95	1	-6.60	0.51	-8.01	0.38
	4	4	4.84	0.72	0	1.31	0.84	0.77	0.26	1	1	0.30	1	1	6.93	1	1	-2.88	0.87	-4.62	0.70
	5	3	7.15	0	0	1.30	0.86	0.79	0.15	0.75	1	0.61	1	1	2.48	1	1	-7.67	0.41	-10.25	0.17
	T	39	7.42	0	0	1.30	0.89	0.79	0.17	0.85	1	0.48	1	1	3.10	1	1	-6.22	0.55	-7.96	0.38
CÓRDOBA	1	13	4.61	0.86	0	1.09	1	1	0.15	0.75	1	0.50	1	1	3.40	1	1	-4.35	0.73	-5.71	0.60
	2	7	4.07	1	0	1.10	1	1	0.18	0.90	1	0.43	1	1	2.65	1	1	-5.71	0.60	-8.19	0.36
	3	10	4.56	0.90	0	1.08	1	1	0.2	1	1	0.49	1	1	2.15	1	1	-2.24	0.93	-3.39	0.82
	4	8	3.24	1	0	1.01	1	1	0.16	0.80	1	0.54	1	1	5.06	1	1	-3.91	0.77	-6.13	0.56
	5	8	4.07	1	0	1.02	1	1	0.11	0.55	0.73	0.65	1	1	0.87	0.84	1	-3.96	0.77	-5.56	0.61
	6	4	3.58	1	0	1.06	1	1	0.14	0.70	0.93	0.44	1	1	-1.43	0.51	0.94	-3.58	0.80	-5.84	0.59
T	50	4.02	1	0	1.06	1	1	0.16	0.80	1	0.51	1	1	2.12	1	1	-3.96	0.77	-5.8	0.59	
GRANADA	1	18	8.1	0	0	1.16	1	0.99	0.21	1	1	0.18	0.65	0.65	-0.14	0.69	1	-6.84	0.49	-8.23	0.36
	2	18	8.28	0	0	1.16	1	0.99	0.2	1	1	0.23	0.84	0.84	-0.14	0.69	1	-4.72	0.69	-6.05	0.57
	3	12	7.03	0	0	1.15	1	1	0.15	0.75	1	0.23	0.84	0.84	3.34	1	1	-5.43	0.63	-5.17	0.65
	T	48	7.8	0	0	1.16	1	0.99	0.19	0.95	1	0.21	0.76	0.76	1.02	0.86	1	-5.66	0.6	-6.49	0.52
JAÉN	1	21	7.54	0	0	1.16	1	0.99	0.17	0.85	1	0.47	1	1	2.18	1	1	-7.13	0.46	-8.46	0.34
	2	17	7.58	0	0	1.15	1	1	0.17	0.85	1	0.47	1	1	1.94	0.99	1	-5.07	0.66	-6.07	0.56
	3	12	7.03	0	0	1.14	1	1	0.16	0.80	1	0.40	1	1	3.34	1	1	-5.43	0.63	-7.33	0.44
	4	11	7.59	0	0	1.16	1	0.99	0.19	0.95	1	0.45	1	1	2.08	1	1	-6.03	0.57	-7.31	0.45
	5	4	5.16	0.51	0	1.18	1	0.96	0.18	0.90	1	0.46	1	1	-1.05	0.56	0.99	-2.10	0.94	-3.25	0.83
	T	65	6.98	0	0	1.16	1	0.99	0.17	0.85	1	0.45	1	1	1.70	0.96	1	-5.15	0.65	-6.47	0.53
MÁLAGA	1	16	6.65	0	0	1.22	0.97	0.9	0.19	0.95	1	0.50	1	1	0.09	0.73	1	-6.2	0.55	-7.52	0.43
	2	11	6.52	0	0	1.21	0.99	0.91	0.17	0.85	1	0.50	1	1	2.68	1	1	-2.68	0.89	-3.72	0.79
	3	13	6.23	0	0	1.21	0.99	0.91	0.19	0.95	1	0.44	1	1	2.40	1	1	-5.2	0.65	-7.02	0.47
	4	7	5.72	0.15	0	1.22	0.97	0.90	0.17	0.85	1	0.46	1	1	0.45	0.78	1	-3.23	0.84	-5	0.67
	5	4	4.56	0.90	0	1.23	0.96	0.89	0.24	1	1	0.52	1	1	5.81	1	1	-1.64	0.99	-3.01	0.86
	T	51	5.94	0.01	0	1.22	0.97	0.90	0.19	0.95	1	0.48	1	1	2.29	1	1	-3.79	0.78	-5.25	0.64

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La metodología anterior se ha aplicado a cinco catedrales andaluzas: la de Cádiz, la Catedral-Mezquita de Córdoba, la de Granada, la de Jaén y la de Málaga, (Figura 1). Las medidas se han realizado siguiendo un protocolo común, escogiendo las posiciones dentro de los recintos donde suele ubicarse la fuente natural en directo de naturaleza musical, hablada o cantada [18]. Los valores promedio de los parámetros acústicos correspondientes a cada posición de la fuente sonora, el número de receptores afectado para cada una de ellas, y los índices parciales calculados de los parámetros acústicos para cada catedral se muestran en la Tabla 3.

De acuerdo con la formulación propuesta, la Figura 4 muestra los resultados de los índices sintéticos calculados para cada posición de la fuente sonora en cada catedral y los valores globales considerando el valor medio de todos los receptores en cada espacio. Para su comparación se incluyen también los resultados de los índices de Berardi.

Un análisis de los datos revela que en ninguna catedral se presenta alguna posición de la fuente problemática ni para la música ni la palabra, y que las posiciones más favorables para la *música* son el trascoro (F4) de la Catedral de Cádiz, todas las posiciones de la fuente sonora en la Catedral-Mezquita de Córdoba que se sitúan en el intervalo 0.8-1.0, siendo la mejor de todas ellas la posición F3 en el púlpito, la posición F5 de la Catedral de Jaén, que corresponde al trascoro, y asimismo la posición F5 de la de Málaga también en el trascoro. Los valores de los índices sintéticos de la *palabra* se sitúan en un valor medio en torno a 0.6, coincidente con el índice para la música en la mayoría de las posiciones de la fuente sonora de todas las catedrales, siendo los más altos el correspondiente al púlpito de la Catedral-Mezquita de Córdoba, y a los trascoros de las catedrales de Jaén y Málaga. En la valoración global destaca lógicamente la Catedral-Mezquita de Córdoba frente a las otras catedrales.

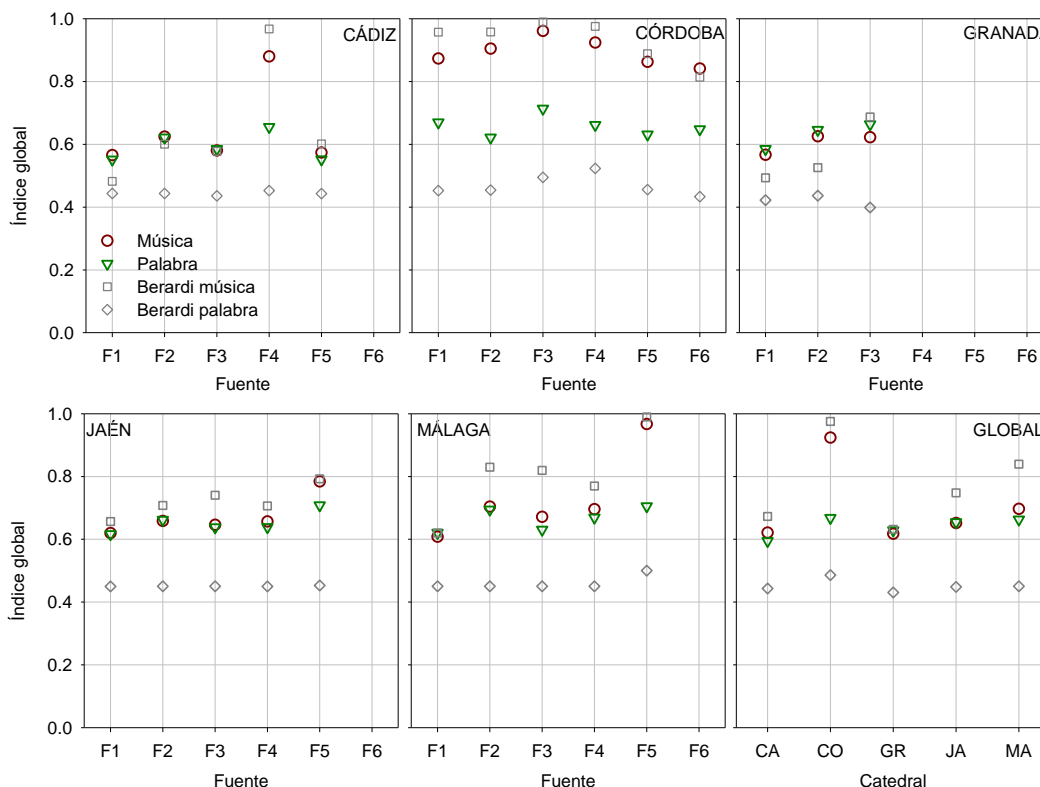


Figura 4. Índices sintéticos globales para la música y la palabra en cada catedral según su posición de fuente sonora y en la última representación gráfica considerando todas las fuentes en cada catedral. Se incluyen también los resultados de los índices de Berardi.

En cuanto a la comparación con los índices propuestos por Berardi, observamos que existe muy buena concordancia en relación al índice sintético de la música en las dos propuestas de evaluación, para los índices sintéticos de la palabra la propuesta de Berardi ofrece índices más pequeños, que apenas distingue entre las distintas fuentes sonoras y cuyo valor oscila en torno a 0.4-0.5 en todas las catedrales y para todas las fuentes sonoras. Lo mismo cabe decir cuando se analizan los resultados globales en las catedrales. El origen de las divergencias puede situarse, más que en la supresión del parámetro acústico T_s y el cambio de rangos óptimos de algunos parámetros, en que en el trabajo de Berardi existen incertidumbres y ambigüedades en cómo se calcula el índice de acuerdo a la ecuación aportada, al rango óptimo del parámetro C_{50} que es 0 dB y aparece en un denominador etc., lo que lleva a los autores de este trabajo a no tener seguridad de que se hayan calculado adecuadamente estos índices sintéticos para la palabra.

CONCLUSIONES

La metodología propuesta en este trabajo pretende sintetizar la acústica de grandes espacios de culto a través de una comparación de los valores medios de seis parámetros acústicos ortogonales, que evalúan cinco características acústicas de los espacios, promediados en los receptores que afectan a cada posición de la fuente sonora de la catedral con sus valores óptimos. Los valores óptimos se han basado en trabajos al respecto de la literatura científica.

Los resultados destacan a la Catedral-Mezquita de Córdoba como un espacio idóneo para la audición de la música en las seis posiciones de la fuente sonora estudiadas y también para la palabra y el canto a pesar de su gran volumen, pero con tiempos de reverberación más cortos y valores más próximos al óptimo del resto de los parámetros de energía, tiempo y lateralidad que el resto de los espacios catedralicios estudiados. El estudio también destaca el espacio del trascoro en las catedrales de las que disponen de él como un lugar adecuado para la realización de conciertos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su más sincero agradecimiento a los deanes de las catedrales por facilitar el acceso para la realización de las medidas. Este trabajo ha sido financiado por fondos FEDER y por los proyectos concedidos por el Ministerio de Economía y Competitividad con referencias CEI 2014/731 y BIA2014-56755-P.

REFERENCIAS

- [1] E. Cirillo, F. Martellotta. "Worship, acoustics and architecture", Multi-Science Publishing, Essex, UK (2006).
- [2] A. P. O. Carvalho, A. E. J. Morgado, L. Henrique. "Relationship between subjective and objective acoustical measures in churches". *Build. Acoust.* 4, 1–20 (1997).
- [3] J. J. Sendra, T. Zamarreño, J. Navarro. "Acoustics in churches", en *Computational Acoustics in Architecture*, J.J. Sendra [Ed.], Computational Mechanics Publications, Southampton, 133–177 (1999).
- [4] 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(2), 1206–20 (2012).
- [5] 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).
- [6] Y. Ando. "Architectural acoustics: blending, sound sources, sound fields, and listeners". Springer, New York, (1998).
- [7] L. L. Beranek. "Concert and opera halls: how they sound". Acoustical Society of America, Nueva York, (1996).
- [8] T. Zamarreño, S. Girón M. Galindo. "Acoustic energy relations in Mudejar-Gothic churches". *J. Acoust. Soc. Am.* 121, 234-250 (2007).
- [9] F. Martellotta. "The just noticeable difference of center time and clarity index in large reverberant spaces". *J. Acoust. Soc. Am.* 128, 654-663 (2010).
- [10] K. Kosala. "A single number index to assess selected acoustic parameters in churches with redundant information". *Arch. Acoust.* 36, 545-560 (2011).
- [11] U. Berardi. "A double synthetic index to evaluate the acoustics of churches". *Arch. Acoust.* 37(4), 521-528 (2012).

- [12] F. Martellotta. "Subjective study of preferred listening conditions in Italian Catholic churches". J. Sound Vib. 317, 378-399 (2008).
- [13] L. Álvarez-Morales, T. Zamarreño, S. Girón, M. Galindo. "A methodology for the study of the acoustic environment of catholic cathedrals: application to the cathedral of Malaga". Build. Environ. 72, 102-115 (2014).
- [14] M. Galindo, S. Girón, T. Zamarreño. "Correlations of the acoustic fields of Mudéjar-Gothic churches". Build. Acoust. 15, 175-196 (2008).
- [15] L. G. Marshall. "An acoustic measurement program for evaluating auditoriums based on the early/late sound energy ratio". J. Acoust. Soc. Am. 96, 2251-2261 (1994).
- [16] K. Kosala, Z. W. Engel. "Assessing the acoustic properties of Roman Catholic churches: A new approach". Appl. Acoust. 74(10), 1144-1152 (2013).
- [17] 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).
- [18] L. Álvarez-Morales, M. Galindo, S. Girón, T. Zamarreño. "La acústica de las catedrales andaluzas". Proceedings of Techniacustica 2013, Valladolid pp. 901-908.

APÉNDICE

Índice parcial, i_j , de cada parámetro, j , para la valoración de la música y de la palabra hablada o cantada.			
MÚSICA		PALABRA	
$0 \leq EDT \leq 1.3$	$i_{EDT} = 0$	$0 \leq EDT \leq 0.48$	$i_{EDT} = 0$
$1.3 < EDT < 2.0$	$i_{EDT} = (EDT - 1.3)/0.7$	$0.48 < EDT < 0.76$	$i_{EDT} = (EDT - 0.48)/0.28$
$2.0 \leq EDT \leq 4.4$	$i_{EDT} = 1$	$0.76 \leq EDT \leq 1.05$	$i_{EDT} = 1$
$4.4 < EDT < 5.95$	$i_{EDT} = (-EDT + 5.95)/1.55$	$1.05 < EDT < 1.4$	$i_{EDT} = (-EDT + 1.4)/0.35$
$5.95 \leq EDT < \infty$	$i_{EDT} = 0$	$1.4 \leq EDT < \infty$	$i_{EDT} = 0$
$0 \leq BR \leq 0.3$	$i_{BR} = 0$	$0 \leq BR \leq 0.25$	$i_{BR} = 0$
$0.3 < BR < 1.0$	$i_{BR} = (BR - 0.3)/0.7$	$0.25 < BR < 0.95$	$i_{BR} = (BR - 0.25)/0.7$
$1.0 \leq BR \leq 1.2$	$i_{BR} = 1$	$0.95 \leq BR \leq 1.15$	$i_{BR} = 1$
$1.2 < BR < 1.9$	$i_{BR} = (-BR + 1.9)/0.7$	$1.15 < BR < 1.85$	$i_{BR} = (-BR + 1.85)/0.7$
$1.9 \leq BR < \infty$	$i_{BR} = 0$	$1.85 \leq BR < \infty$	$i_{BR} = 0$
$0 \leq J_{LF} < 0.20$	$i_{JLF} = J_{LF}/0.20$	$0 \leq J_{LF} < 0.15$	$i_{JLF} = J_{LF}/0.15$
$0.20 \leq J_{LF} \leq 1$	$i_{JLF} = 1$	$0.15 \leq J_{LF} \leq 1$	$i_{JLF} = 1$
$0 \leq IACCE < 0.275$	$i_{IACCE} = IACCE/0.275$	$0 \leq IACCE < 0.275$	$i_{IACCE} = IACCE/0.275$
$0.275 \leq IACCE \leq 1$	$i_{IACCE} = 1$	$0.275 \leq IACCE \leq 1$	$i_{IACCE} = 1$
$-\infty < G \leq -5$	$i_G = 0$	$-\infty < G \leq -8$	$i_G = 0$
$-5 < G < 2$	$i_G = (G + 5)/7$	$-8 \leq G \leq -1$	$i_G = (G + 8)/7$
$2 \leq G < \infty$	$i_G = 1$	$-1 < G < \infty$	$i_G = 1$
$-\infty < C_{80} \leq -12$	$i_{C80} = 0;$	$-\infty < C_{50} \leq -12$	$i_{C50} = 0;$
$-12 < C_{80} < -1.5$	$i_{C80} = (C_{80} + 12)/10.5$	$-12 < C_{50} < -1.5$	$i_{C50} = (C_{50} + 12)/10.5$
$-1.5 \leq C_{80} < \infty$	$i_{C80} = 1$	$-1.5 \leq C_{50} < \infty$	$i_{C50} = 1$