



## **ÍNDICES SINTÉTICOS COMO MEDIDA DE LA CALIDAD EN RECINTOS**

PACS: 43.55.Ka

Giménez, Alicia<sup>1</sup>; Segura, Jaume<sup>1</sup>; Planells, Ana<sup>1</sup>; Cibrián, Rosa<sup>1</sup>; Daumal, Francesc<sup>2</sup>

1 Grupo de Investigación en Acústica Virtual

Universitat Politècnica de València

Universitat de València

E-mail: acusvirt@upv.es,

2 Universitat Politècnica de Catalunya

E-mail: francesc.daumal@upc.edu

### **ABSTRACT**

The evaluation of acoustic quality is a fundamental factor when determining the need to intervene in a space and the suitability of the same for the intended use. Subjective evaluation in worship spaces is scarce because it is difficult to perform. However, some authors have established models that allow to obtain global indexes of evaluation adapted to churches which synthesize the acoustic behavior for the different sound sources.

In this work, the partial indexes for each parameter in the different audience areas and the synthetic indexes of quality for speech and music have been calculated from the measurements made in different patrimonial environments.

### **RESUMEN**

La evaluación de la calidad acústica resulta un factor fundamental a la hora de determinar la necesidad de intervenir en un espacio y la idoneidad del mismo para el uso al que está destinado. Las pruebas subjetivas en recintos de culto son escasas debido a la dificultad de llevarlas a cabo, no obstante, algunos autores han establecido modelos que permiten obtener índices globales de evaluación adaptados a iglesias que sintetizan el comportamiento acústico para los diferentes estímulos sonoros.

En este trabajo, a partir de las medidas realizadas en diferentes entornos patrimoniales, se han calculado los índices parciales para cada parámetro en las diferentes zonas de audiencia y los índices sintéticos de calidad para el habla y la música.

## 1. INTRODUCCIÓN

Dada la dificultad de realizar pruebas subjetivas que permitan evaluar la calidad, algunos autores han establecido índices globales de evaluación adaptados a iglesias [1] [2]. Por otra parte, la diversidad de usos en estos espacios, en los que se lleva a cabo la audición tanto de la música como de la palabra, supone una dificultad añadida, ya que al combinar todos los parámetros una iglesia con unas condiciones óptimas para la música, pero negativas para el habla podría obtener el mismo índice que en caso de ocurrir lo contrario.

Berardi [3] busca establecer un índice para evaluar la acústica en iglesias, tratando de superar la dificultad anterior. Para ello, el autor considera cinco características: reverberación, calidad sonora, espacialidad, fuerza sonora y claridad; definidas por siete parámetros, comparando los valores de estos parámetros con los obtenidos en estudios de preferencia acústica y estableciendo dos índices, uno para el habla y otro para la música. Los requerimientos para la correcta audición del habla y la música son diferentes y deben ser evaluados por separado. En esta línea y basándose en el trabajo de Berardi, Girón et al. [4] y Álvarez-Morales et al. [5], presentan un modelo para sintetizar la acústica de los grandes espacios de culto para los dos tipos de estímulos sonoros.

## 2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD SINTÉTICA DE LA BASÍLICA DE SANTA MARÍA DE ELCHE

La Basílica de Santa María es uno de los múltiples ejemplos de arquitectura religiosa barroca existentes en España. Este templo, comenzado a construir en la segunda mitad del siglo XVII, cuenta con varios elementos arquitectónicos y artísticos de indudable interés, pero su verdadera trascendencia radica en que es el escenario en el que cada año tiene lugar la representación del Misteri d'Elx.

La basílica tiene planta de cruz latina, con una sola nave cubierta con bóveda de cañón y lunetos. A cada lado dispone de cuatro capillas y contrafuertes perforados permitiendo la circulación entre ellas y las comunica a su vez con el transepto y el deambulatorio que envuelve el ábside cubierto por una semicúpula. El crucero se cubre con una gran cúpula con tambor sobre pechinas. La circulación perimetral se repite en la planta superior a través de la tribuna situada sobre las capillas y el deambulatorio en la que se abren balcones al espacio central y los balcones corridos del transepto, en uno de los cuales se sitúa el órgano.

Para la representación del Misteri, la cúpula se cubre con una lona pintada que representa el cielo, se modifica la distribución del mobiliario y se colocan unas estructuras conocidas como tribunas y cadafal, que suponen una reconfiguración del espacio de la basílica

Como se ha presentado en trabajos anteriores [6] [7] se han realizado dos campañas de toma de datos acústicos en la basílica para las dos configuraciones de uso, en su estado habitual y una vez colocadas la lona y las estructuras propias del Misteri.

A partir de las medidas realizadas, se han calculado los índices parciales para cada parámetro en todas las zonas y los índices sintéticos de calidad para el habla y la música. Las tablas 1 a 6 muestran los resultados:

Tabla 1. Índices sintéticos parciales para los parámetros EDT, BR, JLF, IACC y para para el habla y la música en cada zona con la configuración de culto

Zona	$i_{EDT}$	$i_{EDT}$	$i_{BR}$	$i_{BR}$	$i_{JLF}$	$i_{JLF}$	$i_{IACC}$	$i_{IACC}$
------	-----------	-----------	----------	----------	-----------	-----------	------------	------------

	música	habla	música	habla	música	habla	música	habla
Capillas.	0,0	0,0	1,0	0,997	1,0	1,0	0,344	0,344
Nave	0,0	0,0	1,0	0,989	1,0	1,0	0,675	0,675
Transepto.	0,0	0,0	1,0	0,987	0,822	1,0	0,732	0,732
Medio	0,0	0,0	1,0	0,991	1,0	1,0	0,584	0,584

Tabla 2. Índices sintéticos parciales para los parámetros G, C80, C50 y para para el habla y la música en cada zona con la configuración de culto

Zona	I <sub>G</sub>	I <sub>G</sub>	I <sub>C80</sub>	I <sub>C80</sub>	I <sub>C50</sub>	I <sub>C50</sub>
	música	habla	música	habla	música	habla
Capillas.	1,0	1,0	0,004	0,004	0,0	0,0
Nave	1,0	1,0	0,349	0,349	0,312	0,312
Transepto.	1,0	1,0	0,866	0,866	0,849	0,849
Medio	1,0	1,0	0,406	0,406	0,324	0,324

Tabla 3. Índices sintéticos por zonas y medios para la configuración de culto.

Zona	SI <sub>música</sub>	SI <sub>habla</sub>
Capillas	0,485	0,484
Nave	0,587	0,579
Transepto	0,670	0,691
Medio	0,590	0,572

Tabla 4. Índices sintéticos parciales para los parámetros EDT, BR, JLF, IACC y para el habla y la música en cada zona con la configuración de Misteri

Zona	I <sub>EDT</sub>	I <sub>EDT</sub>	I <sub>BR</sub>	I <sub>BR</sub>	I <sub>JLF</sub>	I <sub>JLF</sub>	I <sub>IACC</sub>	I <sub>IACC</sub>
	música	habla	música	habla	música	habla	música	habla
Capillas.	0,0	0,0	1,0	0,966	1,0	1,0	0,385	0,385
Nave	0,0	0,0	1,0	0,961	0,486	0,486	0,727	0,727
Transepto.	0,0	0,0	1,0	0,952	1,0	1,0	0,636	0,636
Medio	0,0	0,0	1,0	0,960	1,0	1,0	0,583	0,583

Tabla 5. Índices sintéticos parciales para los parámetros G, C80, C50 y para el habla y la música en cada zona con la configuración de Misteri

Zona	I <sub>G</sub>	I <sub>G</sub>	I <sub>C80</sub>	I <sub>C80</sub>	I <sub>C50</sub>	I <sub>C50</sub>
	música	habla	música	habla	música	habla
Capillas.	1,0	1,0	0,189	0,189	0,006	0,006
Nave	1,0	1,0	0,575	0,575	0,578	0,578
Transepto.	1,0	1,0	0,828	0,828	0,725	0,725
Medio	1,0	1,0	0,531	0,531	0,436	0,436

Tabla 6. Índices sintéticos por zonas y medios para la configuración de Misteri

Zona	SI <sub>música</sub>	SI <sub>habla</sub>
Capillas	0,526	0,485
Nave	0,560	0,580

Transepto	0,679	0,651
Medio	0,614	0,590

Aunque es necesaria una investigación más profunda en cuanto a la valoración subjetiva, estos índices globales asocian los valores de 1 y 0 a condiciones excelentes y pobres respectivamente. Se observa que los resultados son muy similares en las dos configuraciones tanto en el caso de la música como del habla.

En la tabla 7 se recogen los valores medios de los índices sintéticos de diferentes iglesias estudiadas por otros autores. Si se comparan con los obtenidos se observa que los resultados obtenidos se encuentran dentro de los valores habituales en este tipo de espacios.

Tabla 7. Índices sintéticos globales para el habla y la música en diferentes iglesias.

Iglesia	V(m <sup>3</sup> )	IS <sub>música</sub>	IS <sub>habla</sub>
Catedral de Sevilla [5]	215000	0,93	0,67
Catedral de Málaga [5]	118500	0,70	0,66
Catedral de Granada [5]	158600	0,61	0,65
Catedral de Jaén [5]	85100	0,65	0,65
Duomo de Orvieto [7]	78000	0,58	-
Catedral de Cádiz [5]	70000	0,62	0,59
Basilica de San Lorenzo en Florencia [8]	39000	0,59	-
Iglesia de Il Gesú en Roma [8]	39000	0,61	-
Catedral de Assunta en Lucena [8]	33100	0,59	-
<b>Basilica de Santa María en Elche</b>	<b>25000</b>	<b>0,59</b>	<b>0,57</b>
<b>Basilica de Santa María en Elche (Misteri)</b>	<b>22600</b>	<b>0,61</b>	<b>0,59</b>
Catedral de Córdoba [5]	22114	0,92	0,67
Santa Maria Assunta en Riola di Vergato [8]	6300	0,62	-
Sacra di San Michele en Avigliana [8]	7000	0,77	-
Catedral de San Cataldo en Taranto [3]	9000	-	0,70

### 3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD SINTÉTICA DE LA IGLESIA DEL MONASTERIO DE SANTA MARÍA DE LA MURTA EN ALZIRA

La reconstrucción acústica de edificios no existentes, en ruinas o de sus estados anteriores, es materia de estudio en lo que se ha dado en llamar acústica arqueológica. A partir del análisis de los restos y de la documentación archivística, se puede reconstruir un modelo para el análisis acústico y su posterior auralización que nos permite evocar el ambiente acústico y la situación original del edificio o entorno en cuestión

En trabajos anteriores [9] [10], se ha realizado la reconstrucción acústica de la iglesia del monasterio jerónimo de Santa María de la Murta en Alzira (Valencia), que fue abandonado en el siglo XIX y que actualmente está en ruinas.

Esta iglesia fue proyectada en 1516 por Guillén Ramón Vich, Arzobispo de Xàtiva y terminada en 1623. Su arquitectura se conoce por una acuarela pintada en 1896 por M. Peris que se conserva en el museo de Alzira. Estaba formada por una nave con capillas entre contrafuertes y contaba con un coro alto a los pies, una característica común en las iglesias jerónimas.

Se han realizado varias simulaciones teniendo en cuenta las costumbres de la orden jerónima y los usos que tenían lugar en el espacio de la iglesia. Por ello se han considerado tres posiciones de fuente coincidiendo con la situación del altar, el coro, y el órgano respectivamente.

Por otra parte se han distinguido cuatro zonas que por sus características espaciales pueden presentar comportamientos acústicos diferenciados en las cuales se han posicionado los receptores. Estas zonas son el sotacoro, la nave, el coro y el presbiterio.

Al igual que en el caso anterior, pero empleando los parámetros simulados, se han calculado los índices sintéticos para los diversas situaciones de estudio. Los resultados se muestran en las tablas 8 a 14.

Tabla 8. Índices sintéticos parciales para los parámetros EDT, BR, JLF, IACC para el habla y la música en cada zona con la fuente situada en el altar.

Zona	$\dot{i}_{EDT}$	$\dot{i}_{EDT}$	$\dot{i}_{BR}$	$\dot{i}_{BR}$	$\dot{i}_{JLF}$	$\dot{i}_{JLF}$	$\dot{i}_{IACC}$	$\dot{i}_{IACC}$
	música	habla	música	habla	música	habla	música	habla
Sotacoro	0,0	0,0	0,96	0,89	0,56	0,74	1,0	1,0
Nave	0,0	0,0	0,94	0,87	0,93	1,0	1,0	1,0
Coro	0,02	0,0	0,96	0,89	1	0,58	1,0	1,0
Presbiterio	0,48	0,0	0,94	0,87	0,84	1,0	1,0	1,0

Tabla 9. Índices sintéticos parciales para los parámetros G, C80 y C50 para el habla y la música en cada zona con la fuente situada en el altar.

Zona	$I_G$	$I_G$	$I_{C80}$	$I_{C50}$
	música	habla	música	habla
Sotacoro	1,0	1,0	0,30	0,08
Nave	1,0	1,0	0,58	0,35
Coro	1,0	1,0	0,49	0,22
Presbiterio	1,0	1,0	1,0	1,0

Tabla 10. Índices sintéticos por zonas con la fuente situada en el altar.

Zona	$SI_{música}$	$SI_{habla}$
Sotacoro	0,54	0,51
Nave	0,65	0,60
Coro	0,64	0,58
Presbiterio	0,84	0,73

Tabla 11. Índices sintéticos parciales para los parámetros EDT, BR, JLF, IACC para el habla y la música en cada zona con la fuente situada en el coro.

Zona	$\dot{i}_{EDT}$	$\dot{i}_{EDT}$	$\dot{i}_{BR}$	$\dot{i}_{BR}$	$\dot{i}_{JLF}$	$\dot{i}_{JLF}$	$\dot{i}_{IACC}$	$\dot{i}_{IACC}$
	música	habla	música	habla	música	habla	música	habla
Sotacoro	0,0	0,0	0,94	0,87	0,70	0,94	1,0	1,0
Nave	0,0	0,0	0,95	0,88	0,75	1,0	1,0	1,0
Coro	1,0	0,0	0,95	0,88	0,80	1,0	1,0	1,0

Presbiterio	0,07	0,0	0,95	0,88	0,85	1,0	1,0	1,0
-------------	------	-----	------	------	------	-----	-----	-----

Tabla 10. Índices sintéticos parciales para los parámetros G, C80 y C50 para el habla y la música en cada zona con la fuente situada en el coro.

Zona	I <sub>G</sub>	I <sub>G</sub>	I <sub>C80</sub>	I <sub>C50</sub>
	música	habla	música	habla
Sotacoro	1,0	1,0	0,0	0,0
Nave	1,0	1,0	0,38	0,0
Coro	1,0	1,0	1,0	1,0
Presbiterio	1,0	1,0	0,58	0,36

Tabla 11. Índices sintéticos por zonas con la fuente situada en el coro.

Zona	SI <sub>música</sub>	SI <sub>habla</sub>
Sotacoro	0,50	0,52
Nave	0,58	0,53
Coro	0,96	0,73
Presbiterio	0,65	0,60

Tabla 12. Índices sintéticos parciales para los parámetros EDT, BR, JLF, IACC para el habla y la música en cada zona con la fuente situada en el órgano.

Zona	i <sub>EDT</sub>	i <sub>EDT</sub>	i <sub>BR</sub>	i <sub>BR</sub>	i <sub>JLF</sub>	i <sub>JLF</sub>	i <sub>IACC</sub>	i <sub>IACC</sub>
	música	habla	música	habla	música	habla	música	habla
Sotacoro	0,0	0,0	0,94	0,87	1,0	1,0	1,0	1,0
Nave	0,0	0,0	0,97	0,90	0,74	0,98	1,0	1,0
Coro	0,08	0,0	0,95	0,87	1,0	1,0	1,0	1,0
Presbiterio	0,0	0,0	0,96	0,89	1,0	1,0	1,0	1,0

Tabla 13. Índices sintéticos parciales para los parámetros G, C80 y C50 para el habla y la música en cada zona con la fuente situada en el órgano.

Zona	I <sub>G</sub>	I <sub>G</sub>	I <sub>C80</sub>	I <sub>C50</sub>
	música	habla	música	habla
Sotacoro	1,0	1,0	0,11	0,0
Nave	1,0	1,0	0,43	0,23
Coro	1,0	1,0	0,74	0,51
Presbiterio	1,0	1,0	0,45	0,25

Tabla 14. Índices sintéticos por zonas con la fuente situada en el órgano.

Zona	SI <sub>música</sub>	SI <sub>habla</sub>
Sotacoro	0,56	0,53
Nave	0,59	0,58
Coro	0,71	0,63
Presbiterio	0,63	0,58

Los resultados muestran que la peor zona tanto para el habla como para la música es el sotacoro, independientemente de cual sea la posición de la fuente. Por otra parte, en la zona del coro se obtienen los mejores resultados tanto para el habla como para la música.

Se han comparado los índices obtenidos con los de iglesias estudiadas por otros autores [3] [5] [7] [8] observando que los valores de EDT se encuentran dentro de los valores habituales, mientras que los valores de G y BR son más elevados que en otros casos, probablemente debido a que la simulación se ha realizado considerando la iglesia vacía y sin ornamentación ni mobiliario.

#### **4. CONCLUSIONES**

En este trabajo, partiendo de las medidas de parámetros acústicos realizadas in situ, se han calculado los índices parciales para cada parámetro en todas las zonas y los índices sintéticos de calidad para el habla y la música en la Basílica de Santa María de Elche tanto para la configuración propia del culto como para la de la representación del Misteri d'Elx.

Del mismo modo se han calculado los índices parciales para cada parámetro y zona en la iglesia del monasterio de Santa María de la Murta, actualmente en ruinas, para las tres posiciones de fuente que existían en ella: altar, coro y órgano. Dada la imposibilidad de medir por el estado de conservación en el que se encuentra la iglesia, se ha trabajado a partir de simulaciones.

En ambos casos los resultados se han comparado con los obtenidos en diferentes iglesias.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía e Innovación con los proyectos con referencias BIA2008-05485, BIA2012-36896 y BIA2016-76957-C3-3-R.

#### **REFERENCIAS**

- [1] Engel Z., Kosala K. (2007), Index method of the acoustic quality assessment of sacral buildings, *Archives of Acoustics*, 32, 3, 3–22.
- [2] Kosala K. (2011), A Single Number Index to Assess Selected Acoustic Parameters in Churches with Redundant Information, *Archives of Acoustics*, 36, 3, 545– 560.
- [3] BERARDI, U. (2012). A Double Synthetic Index to Evaluate the Acoustics of Churches. *Archives of Acoustics*. Vol. 37, 4, pp. 521–528.
- [4] GIRÓN, S., ZAMARREÑO, T., ÁLVAREZ-MORALES, L., GALINDO, M. (2015) Índices acústicos globales en grandes espacios de culto. *Proceedings of Tecniacústica 2015*, Valencia.
- [5] ÁLVAREZ-MORALES, L., GIRÓN, S., GALINDO, M., ZAMARREÑO, T. (2016) Acoustic Environment of Andalusian Cathedrals. *Building and Environment* 103, pp. 182–92.
- [6] PLANELLS, A.; SEGURA, J.; CERDÁ, S.; BARBA, A.; CIBRIÁN, R; GIMÉNEZ, A. (2015). Acústica virtual patrimonial: aplicación a la auralización del Misteri d' Elx. *Proceedings del 46º Congreso Español de Acústica, 9º Congreso Ibérico de Acústica y Simposio Europeo sobre Acústica Virtual y Ambisonics*, pp. 1477-1484.
- [7] PLANELLS, A.; SEGURA, J.; BARBA, A.; CERDÁ, S.; CIBRIÁN, R; GIMÉNEZ, A. (2016).



**48º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA**  
**ENCUENTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA**  
**European Symposium on Underwater Acoustics**  
**Applications**  
**European Symposium of Sustainable Building**  
**Acoustics**

Analysis of acoustic variations due to different use configurations in the “Basilica de Santa María de Elche”, venue of the “Misteri”. PROCEEDINGS of the 22nd International Congress on Acoustics

[8] CIRILLO, E., MARTELLOTA, F. (2006). *Worship, Acoustics and Architecture*. Multi Science Publishing Company.

[9] PLANELLS, A.; SEGURA, J.; BARBA, A.; CERDÁ, S.; GIMÉNEZ, A.; CIBRIÁN, R. M. (2014). Virtual acoustic reconstruction of the church at the lost monastery of Santa Maria de la Murta. *Augmented and virtual reality*, pp. 457-464. Springer International Publishing, Cham, Switzerland.

[10] SENDER, M.; PLANELLS, A.; PERELLÓ, R.; SEGURA, J.; GIMÉNEZ, A. (2017) Virtual acoustic reconstruction of a lost church: application to an Order of Saint Jerome monastery in Alzira, Spain. *Journal of Building Performance Simulation*.