

Metodología para la mejora acústica de recintos de culto. Aplicación en la Catedral de Valencia



Elena Díaz^{*1}, Radha Montell¹, Salvador Cerdá¹, Jaume Segura², Rosa Cibrián³, Arturo Barba¹, Radu Lacatis¹, Ana Planells¹, Rafael Fayos¹, Joaquín Navasquillo[†], Alicia Giménez¹

¹ Departamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València

² Departamento de Informática, Universitat de València

³ Departamento de Fisiología, Universitat de València

* eldaru@alumni.upv.es

PACS: 43.55.Gx, 43.55.Ka

Resumen

Los recintos de culto son espacios patrimoniales de gran valor cultural, artístico y arquitectónico. Asimismo, en ellos tienen lugar eventos, integrantes de su patrimonio cultural inmaterial, donde la transmisión del sonido es un factor preferente. Por todo ello, resulta relevante garantizar un adecuado acondicionamiento acústico de los recintos de culto para sus dos usos fundamentales, la música religiosa y la palabra. Para ello, se ha establecido una metodología compuesta por las fases de medición acústica, estudio del comportamiento acústico del recinto, levantamiento y calibración del modelo acústico y simulaciones acústicas. Al tratarse de edificios protegidos, las propuestas de intervención deben basarse en el respeto a los valores patrimoniales de los templos. Con todo ello, en este estudio se ha realizado una propuesta de mejora del acondicionamiento acústico de la Catedral de Valencia.

Palabras clave: simulación acústica, patrimonio, recintos de culto, música religiosa, palabra.

Abstract

Places of worship are heritage spaces of great cultural, artistic and architectural value. Likewise, events take place in them, members of their intangible cultural heritage, where the transmission of sound is a preferential factor. Therefore, it is important to guarantee an adequate acoustic conditioning of the places of worship for its two fundamental uses, religious music and speech. For this, a methodology has been established consisting of the phases of acoustic measurement, study of the acoustic behavior of the enclosure, lifting and calibration of the acoustic model and acoustic simulations. As they are protected buildings, intervention proposals must be based on respect for the heritage values of temples. With all this, in this study a proposal has been made to improve the acoustic conditioning of the Cathedral of Valencia.

Keywords: acoustic simulation, heritage, places of worship, religious music, speech.

1. Introducción

La aplicación de la acústica virtual en el estudio del comportamiento acústico de recintos de culto es relativamente reciente. Las diferencias entre las salas de espectáculos y los recintos de culto son notables, por lo que resulta necesario adaptar la forma de trabajo y establecer protocolos de actuación específicos. Diferentes estudios han verificado la necesidad de analizar el comportamiento acústico de las diferentes zonas y subzonas de los recintos de culto. Debido a la complejidad geométrica de este tipo de espacios patrimoniales, pueden aparecer zonas que tengan un comportamiento acústico singular en las que valores medios del recinto no resulten

representativos [1]. Asimismo, la complejidad geométrica de los recintos de culto requiere simplificar los modelos acústicos virtuales con el objetivo de optimizar el proceso de simulación acústica [2].

En este ámbito de estudio, encontramos diferentes autores que han estudiado la relación entre la forma arquitectónica y el comportamiento acústico de los recintos de culto [3, 4, 5]. Sin embargo, la singularidad de este tipo de construcciones puede derivar en comportamientos acústicos inesperados, por lo que para conocer con exactitud su comportamiento acústico resulta necesario realizar estudios específicos [2]. Con ello, diversos autores han centrado su investigación en el estudio acús-

tico de diferentes espacios de culto de importantes valores patrimoniales. A. Pedrero et al. realizaron un estudio sobre comportamiento acústico de la Catedral de Toledo, teniendo en cuenta sus diferentes usos litúrgicos y los distintos espacios en los que se llevan a cabo [1]. L. Álvarez Morales llevó a cabo un estudio sobre el patrimonio acústico de las catedrales andaluzas más representativas, con el fin de promover su conservación y difusión [6]. A. Alonso Carrillo realizó un estudio sobre la sonoridad de las Catedrales de Sevilla y Granada, con el objetivo de ampliar sus valores patrimoniales mediante la recuperación de sus diferentes etapas sonoras [7]. A. Planells Pérez desarrolló una investigación en la que estudió el comportamiento acústico de la Basílica de Santa María de Elche y el Misteri d'Elx, evento incluido en la lista representativa del Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad [2]. E. Alberdi Causse realizó una investigación sobre la evolución del comportamiento acústico de los recintos religiosos del periodo barroco [8].

En esta misma línea de investigación, encontramos autores que, a través de simulaciones acústicas, han estudiado la posibilidad de realizar mejoras en el acondicionamiento acústico de recintos de culto. Bueno et al. realizaron una propuesta de rehabilitación acústica de la Iglesia de Santa Ana de Moratalaz mediante la incorporación de revestimientos absorbentes reversibles, dispuestos estratégicamente desde el punto de vista acústico y arquitectónico [9]. A. Romero et al. estudiaron la acústica de la Iglesia Sant Agustí de Vinaròs en Castellón y realizaron una propuesta de rehabilitación acústica para adaptarla a sala de uso múltiple. Para ello, los autores proponen la incorporación de elementos de madera, textiles y láminas de vidrio en forma de concha acústica [10]. G. Iannance et al. realizaron una propuesta de mejora acústica de la Iglesia de San Pío X en Matera, mediante la incorporación de materiales absorbentes sobre la superficie de las bóvedas laterales [11]. C. Carmona et al. realizaron una propuesta de mejora del acondicionamiento acústico de la Iglesia de San Lorenzo de Sevilla, mediante la instalación de paneles de yeso laminado perforado sobre ciertas paredes del recinto, siendo respetuosos con las formas y acabados originales del templo [12].

Teniendo en cuenta las investigaciones analizadas, se ha establecido una metodología para la mejora acústica de recintos patrimoniales, compuesta por las fases de medición acústica, estudio del comportamiento acústico del recinto, levantamiento y calibración del modelo acústico y simulaciones acústicas. Una vez obtenido el modelo acústico calibrado del recinto estudiado, se puede predecir el resultado acústico de cualquier posible intervención de mejora previamente a su realización práctica, quedando garantizado un resultado acústico adecuado. Al tratarse de edificios patrimoniales, las propuestas de

intervención deben basarse en el respeto a los valores culturales, artísticos y arquitectónicos de los templos.

En este estudio, se ha aplicado dicha metodología para la mejora del acondicionamiento acústico de la Catedral de Valencia. Se trata de un recinto de culto de gran valor patrimonial donde tienen lugar eventos sonoros de gran relevancia. En este sentido, cabe destacar la representación del Canto de la Sibila, evento patrimonial de origen medieval que fusiona música religiosa y teatro [13]. Dado que se trata de un edificio patrimonial protegido, no es posible alterar su configuración espacial ni sus actuales revestimientos. Partiendo de esta limitación, se ha propuesto una mejora del acondicionamiento acústico mediante la incorporación de elementos textiles ornamentales reversibles con un alto grado de absorción acústica. Mediante simulaciones acústicas, se ha determinado el resultado de la mejora propuesta, lo que garantiza un acondicionamiento acústico adecuado.

2. Metodología

2.1. Medición acústica

Este estudio parte de la medición acústica de la Catedral de Valencia realizada por el Grupo de Investigación en Acústica Virtual de la Universitat Politècnica de València. El procedimiento de medición acústica se ha basado en los requerimientos establecidos en [22]. En total, se han establecido 47 puntos de medida, situados en la nave central, las naves laterales y el transepto, y 3 ubicaciones de la fuente sonora, según se muestra en la Figura 1. Para la emisión sonora, se han utilizado una fuente dodecaédrica omnidireccional modelo *DO12* y un amplificador modelo *M-1000*. Para determinar los parámetros acústicos monoaurales, se han empleado micrófonos omnidireccionales modelo *GRAS 40AK*, con sus correspondientes fuentes de alimentación modelo *GRAS 12AA* y preamplificadores modelo *GRAS 26AK*. Para determinar los parámetros acústicos espaciales, se han utilizado micrófonos multipatrón modelo *AT4050/CM5* y una fuente de alimentación modelo *Phantom II 12V/48V*. Para determinar los parámetros acústicos binaurales, se ha empleado una cabeza acústica modelo *HMS III.0*, con su correspondiente fuente de alimentación. El registro y grabación de la señal percibida, así como la determinación de los parámetros acústicos del recinto, se ha realizado con el software *WinMLS* [14]. En la Figura 2, se muestra el esquema de conexiones del equipamiento de medición acústica utilizado.

2.2. Estudio del acondicionamiento acústico del recinto

A partir de los datos obtenidos en la medición, se ha realizado un estudio del acondicionamiento acústico del

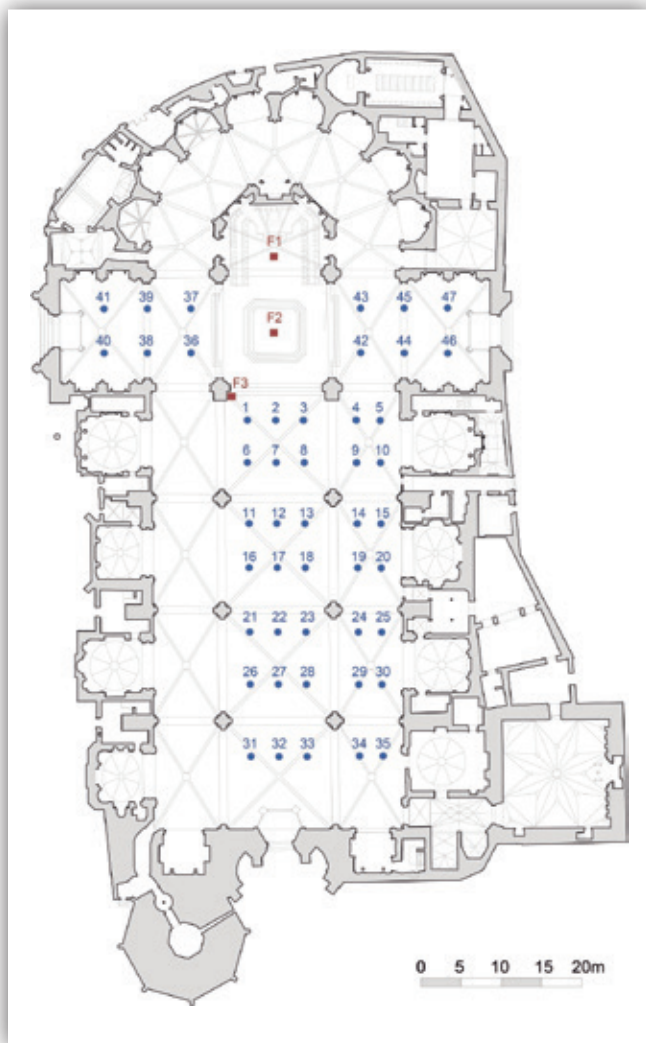


Figura 1. Ubicación de las fuentes sonoras y los puntos de medida durante la medición acústica de la Catedral de Valencia.

recinto. Los valores del tiempo de reverberación, T_{30} , obtenidos en la medición acústica, se han comparado con los valores óptimos para la música religiosa y la palabra teniendo en cuenta el volumen del recinto, con el objetivo de determinar la idoneidad del acondicionamiento acústico del templo para este tipo de audición. Asimismo, se han analizado los resultados obtenidos para el tiempo de caída inicial, EDT, la fuerza sonora, G, el tiempo central, T_s , la claridad musical, C_{80} , la claridad de la voz, C_{50} , la fracción de energía lateral, J_L y la inteligibilidad del habla, STI. A partir del estudio del comportamiento acústico del recinto, se ha determinado la línea de actuación para realizar la propuesta de mejora acústica.

2.3. Levantamiento y calibración del modelo acústico

Tomando como base los planos disponibles, cuyos datos han sido completados y verificados con mediciones *in situ*, se ha llevado el modelo acústico del interior de la Catedral de Valencia. En la Figura 3, se muestra una vista seccionada del modelo acústico, compuesto por 3.265 superficies ordenadas por capas según los materiales reales. Este modelo en 3D se ha exportado al software Odeon para realizar su calibración acústica. El proceso de calibrado consiste en asignar unas características acústicas determinadas a cada una de las superficies del modelo, con el objetivo de obtener una reverberación percibida similar a la real del recinto estudiado. Con ello, se ha realizado la calibración del modelo acústico con el tiempo de reverberación, T_{30} , y el tiempo de caída inicial, EDT, garantizando que no se supera el umbral diferencial, JND, establecido por la UNE-EN ISO-3382-1:2010. Asimismo, se han analizado el nivel sonoro subjetivo, la claridad del sonido percibida y el ancho aparente de la fuente.

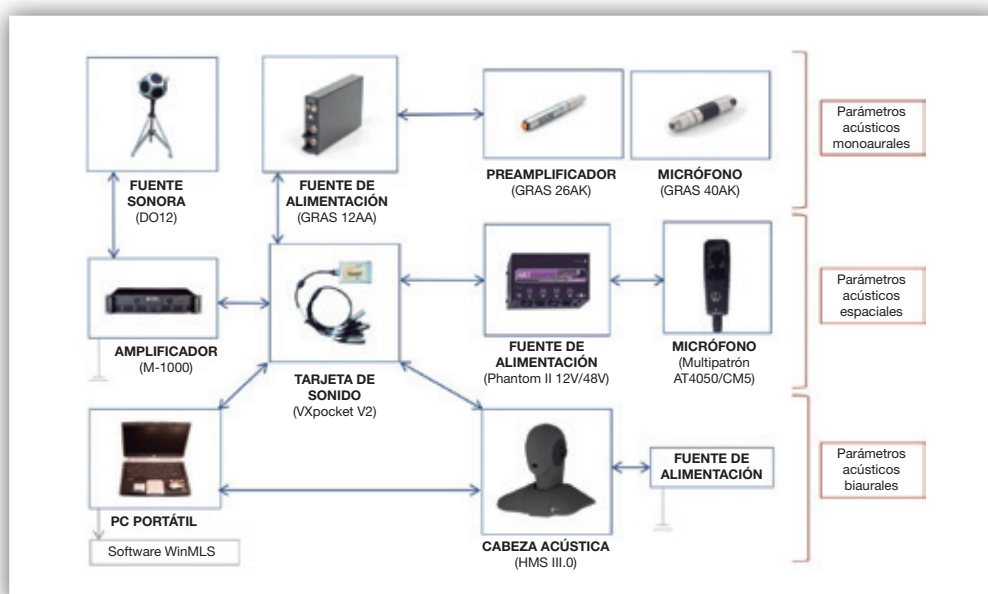


Figura 2. Esquema de conexiones de equipamiento utilizado en la medición acústica de la Catedral de Valencia.

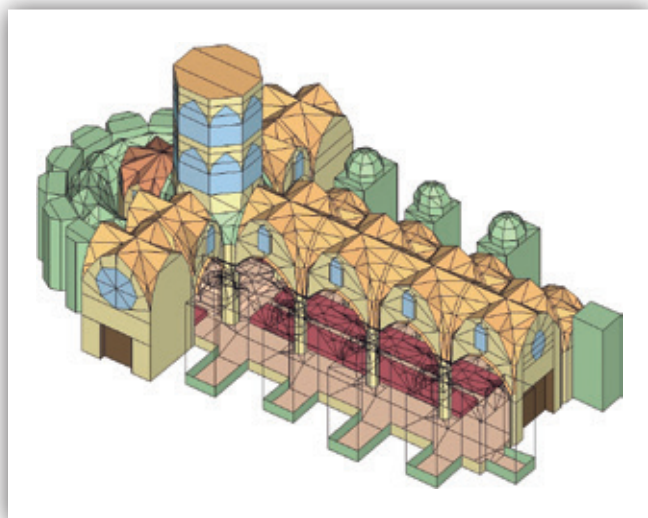


Figura 3. Modelo acústico virtual de la Catedral de Valencia.

2.4. Simulación acústica

Una vez obtenido el modelo acústico calibrado, se puede predecir el resultado de cualquier intervención de mejora del acondicionamiento acústico del recinto. Con ello, se ha realizado una propuesta de mejora acústica de la Catedral de Valencia para sus dos usos fundamentales, la música religiosa y la palabra. Mediante el empleo de simulaciones acústicas realizadas con el software Odeon, se ha analizado la influencia de la mejora acústica en el tiempo de reverberación, T_{30} , el tiempo de caída inicial, EDT, la fuerza sonora, G , el tiempo central, T_s , la claridad musical, C_{80} , la claridad de la voz, C_{50} , la fracción de energía lateral, J_{LF} y la inteligibilidad del habla, STI.

3. Resultados

3.1. Just Noticeable Difference, JND

En la Tabla 1, se indican los coeficientes de absorción aplicados en el proceso de calibración a cada una de las capas según los materiales reales, tomando como referencia los valores obtenidos mediante ensayos normalizados [15, 16, 17, 18].

En la Tabla 2, se muestran los valores del umbral diferencial, JND, para los diferentes parámetros acústicos analizados. Para el tiempo de reverberación, T_{30} , y el tiempo de caída inicial, EDT, el error relativo entre la medición y la simulación no supera el 5% (número de $JND < 1$). Con ello, queda garantizado que las diferencias en la reverberación percibida no son perceptibles para el oído humano, por lo que resulta adecuada la calibración realizada del modelo acústico. Para la fuerza sonora, G , el número de JND resulta ligeramente superior a la unidad, con lo que se puede estimar que existe una pequeña variación del nivel sonoro subjetivo entre la simulación y el edificio real. Para la claridad musical, C_{80} , la claridad de la voz, C_{50} , y el tiempo central, T_s , los números de JND son próximos a unidad, resultado ligeramente superior para el parámetro T_s . Con ello, se puede estimar que la diferencia de la claridad del sonido percibida entre la simulación y la real del edificio es mínima. Para la fracción de energía lateral, J_{LF} , el número de JND es inferior a la unidad, con lo que se puede determinar que la diferencia del ancho aparente de la fuente entre la simulación y la real del edificio no es perceptible para el oído humano.

Tabla 1. Coeficientes de absorción por frecuencias aplicados en la calibración del modelo acústico.

Revestimientos	Coeficientes de absorción por frecuencias (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Mampostería de piedra ¹	0,13	0,13	0,13	0,14	0,16	0,16
Pavimento de mármol ²	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Estuco ²	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05
Puerta de madera ²	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10
Bancos de madera sin audiencia ²	0,05	0,08	0,10	0,12	0,12	0,12
Bancos de madera con audiencia ²	0,24	0,40	0,78	0,98	0,96	0,87
Vidrieras ³	0,13	0,12	0,08	0,07	0,06	0,04
Retablo ⁴	0,12	0,12	0,15	0,15	0,18	0,18
Bóvedas ⁵	0,32	0,30	0,30	0,30	0,27	0,10
Promedio ábside ⁵	0,27	0,27	0,25	0,25	0,17	0,16

¹ Bork, 2005 [15]. ² Vörländer, 2008 [16]. ³ Cox and D'Antonio, 2009 [17]. ⁴ Martellota, 2009 [18]. ⁵ Ajustado durante el proceso de calibración.

Tabla 2. Umbrales Diferenciales, JND, del modelo acústico.

	Umbral diferencial JND	Medición	Simulación	Error absoluto	Error relativo (%)	Número de JND
T_{30} (s)	Rel. 5% ¹	4,67 ³	4,72 ³	0,04	0,92	0,18 < 1
EDT (s)	Rel. 5% ¹	4,54 ³	4,60 ³	0,06	1,43	0,29 < 1
G (dB)	1 dB ¹	9,07 ³	10,35	1,28	–	1,28 > 1
C_{80} (dB)	2,5 dB ²	-6,55 ³	-4,65 ³	1,90	–	0,76 < 1
C_{50} (dB)	2,5 dB ²	-9,08 ³	-7,38 ³	1,70	–	0,68 < 1
T_s (ms)	10 ms ¹	362,83 ³	351,26 ³	11,57	–	1,16 > 1
J_{LF}	0,05 ¹	0,177 ⁴	0,183 ⁴	0,005	–	0,11 < 1

¹ UNE-EN ISO-3382-1.² R. Höhne y G. Stroth [19].³ Promediado en frecuencias de 500 a 1000 Hz.⁴ Promediado en frecuencias de 125 a 1000 Hz.

3.2. Propuesta de mejora del acondicionamiento acústico

A partir del estudio del comportamiento acústico de la Catedral de Valencia, se ha realizado una propuesta de mejora acústica del recinto. El tiempo de reverberación óptimo de la Catedral de Valencia para sus dos usos fundamentales, la música religiosa y la palabra, se ha calculado a partir de la Ecuación 1, recomendada por J.J. Sendra et al.,

$$T_{op} = k \cdot u \cdot i \cdot V^{1/3} \quad (1)$$

donde k es un coeficiente dependiente de la frecuencia, u es un coeficiente dependiente del uso del recinto, i es un coeficiente que tiene en cuenta la existencia o no de apoyo electroacústico y V es el volumen del recinto [20].

En la Tabla 3, se muestra el promedio de T_{30} con la sala vacía, obtenido de la medición acústica, y el promedio de T_{30} con la sala ocupada, obtenido mediante simulaciones acústicas incorporando en el modelo la absorción acústica de los asientos ocupados. Asimismo, se indica el tiempo de reverberación óptimo, calculado para la música religiosa y la palabra, considerando un volumen de 55.925m³ y un uso sin apoyo electroacústico. Actualmente, en la Catedral de Valencia hay instalado un sistema de apoyo electroacústico que produce distorsiones

en el sonido y dificultades en la escucha, por lo que se propone su retirada.

Analizando los datos obtenidos, se observa que, a medias y bajas frecuencias (125-1000 Hz), los valores del tiempo de reverberación, T_{30} , son notablemente superiores a los valores óptimos, tanto para música religiosa como para la palabra. En cambio, resultan próximos, e incluso inferiores, a altas frecuencias (2000-4000Hz). Teniendo en cuenta las limitaciones de la intervención, el objetivo de la propuesta de mejora del acondicionamiento acústico se ha centrado en aumentar la absorción acústica del recinto con el objetivo obtener un tiempo de reverberación a frecuencias de 500 a 1000 Hz, $T_{30,MID}$, próximo a los valores óptimos para la música religiosa y la palabra.

Puesto que se trata de un edificio patrimonial protegido, la propuesta de mejora está limitada y no es posible alterar los actuales revestimientos ni la configuración espacial del recinto. Ante esta situación, la propuesta de mejora del acondicionamiento acústico del templo, se ha limitado a la incorporación de elementos textiles ornamentales reversibles con alto grado de absorción acústica. A partir de simulaciones acústicas, se ha realizado un diseño de la ubicación óptima de los elementos textiles basado en el respeto a los actuales valores artísticos y arquitectónicos del templo. En la Tabla 4, se muestran los coeficientes de absorción por frecuencias de los elementos textiles empleados.

Tabla 3. Valores promedio del tiempo de reverberación, T_{30} , para sala vacía, sala ocupada y óptimo (música religiosa y palabra).

	Frecuencias (Hz)						$T_{30,MID}$ (500-1000Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	
T_{30} (s) - Sala vacía	5,31	5,33	4,93	4,41	3,69	3,03	4,67
T_{30} (s) - Sala ocupada	5,11	5,01	4,54	4,09	3,29	2,52	4,32
T_{op} (s) - Música religiosa	4,97	4,40	3,82	3,44	3,44	3,44	3,63
T_{op} (s) - Palabra	3,73	3,30	2,87	2,58	2,58	2,58	2,73

Tabla 4. Coeficientes de absorción por frecuencias de los elementos textiles empleados en la propuesta de mejora acústica.

Revestimientos	Coeficientes de absorción por frecuencias (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Alfombra/moqueta ¹	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54
Textiles suspendidos ¹	0,05	0,12	0,35	0,45	0,38	0,36

¹ Vörländer, 2008 [16].

En la propuesta de mejora para la música religiosa, se ha optado por incorporar moqueta sobre el pavimento de mármol del altar mayor, elemento con una gran influencia en la acústica del templo por su proximidad a la fuente de emisión sonora. Asimismo, se ha propuesto la instalación de elementos textiles decorativos suspendidos a lo largo de la nave central. En la propuesta de mejora para la palabra, además de lo indicado, se propone la incorporación de alfombras a lo largo de la nave central y las naves laterales. En la Figura 4, se muestra la propuesta de distribución en planta y alzado de los elementos textiles para los usos específicos de música religiosa y palabra.

En la Figura 5, se muestra la variación de los parámetros T_{30} , EDT, G, C_{80} , C_{50} , T_s y J_{LF} . Con la propuesta de mejora acústica, los valores del tiempo de reverberación, T_{30} , y el tiempo de caída inicial, EDT, disminuyen notablemente, resultando el tiempo de reverberación a frecuencias de 500 a 1000 Hz, $T_{30,MID}$, próximo a los valores

óptimos para la música religiosa y la palabra. Con la disminución del tiempo de reverberación del recinto, se produce una disminución de la fuerza sonora, G, situándose los valores tras la mejora acústica dentro del rango típico establecido por la UNE-EN ISO-3382-1:2010. Los valores obtenidos para la claridad musical, C_{80} , la claridad de la voz, C_{50} , y el tiempo central, T_s , muestran una clara mejora de la claridad del sonido percibida. Con la propuesta de mejora acústica, los cambios producidos en la fracción de energía lateral, J_{LF} , son mínimos, resultado similar el ancho aparente de la fuente percibido por los oyentes.

En la Tabla 5, se muestran los resultados del parámetro STI y la clasificación de la inteligibilidad del habla con y sin la mejora acústica, considerando la sala ocupada. La propuesta de mejora resulta notablemente favorable para la inteligibilidad del habla, alcanzando el parámetro STI un valor promedio de 0,55 (inteligibilidad del habla aceptable) y 0,61 (inteligibilidad del habla buena).

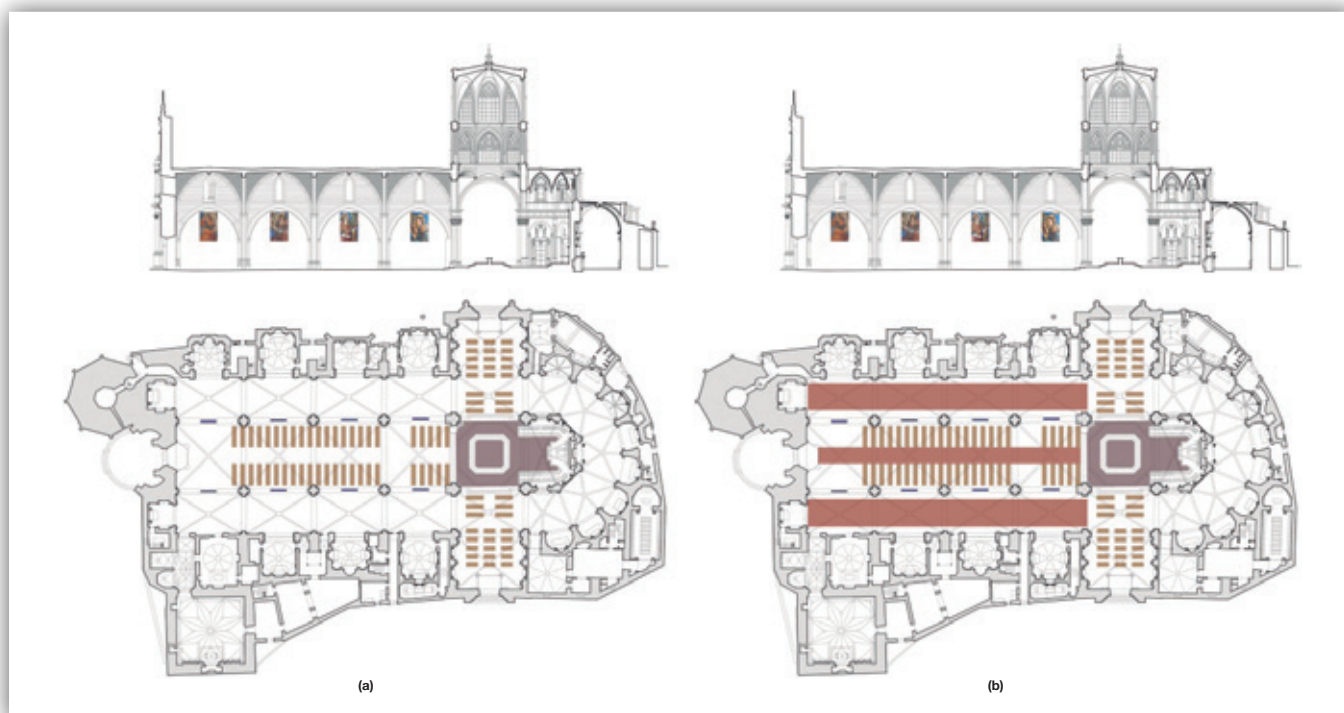


Figura 4. Ubicación de los elementos textiles para la mejora del acondicionamiento acústico de la Catedral de Valencia para la música religiosa (a) y la palabra (b).

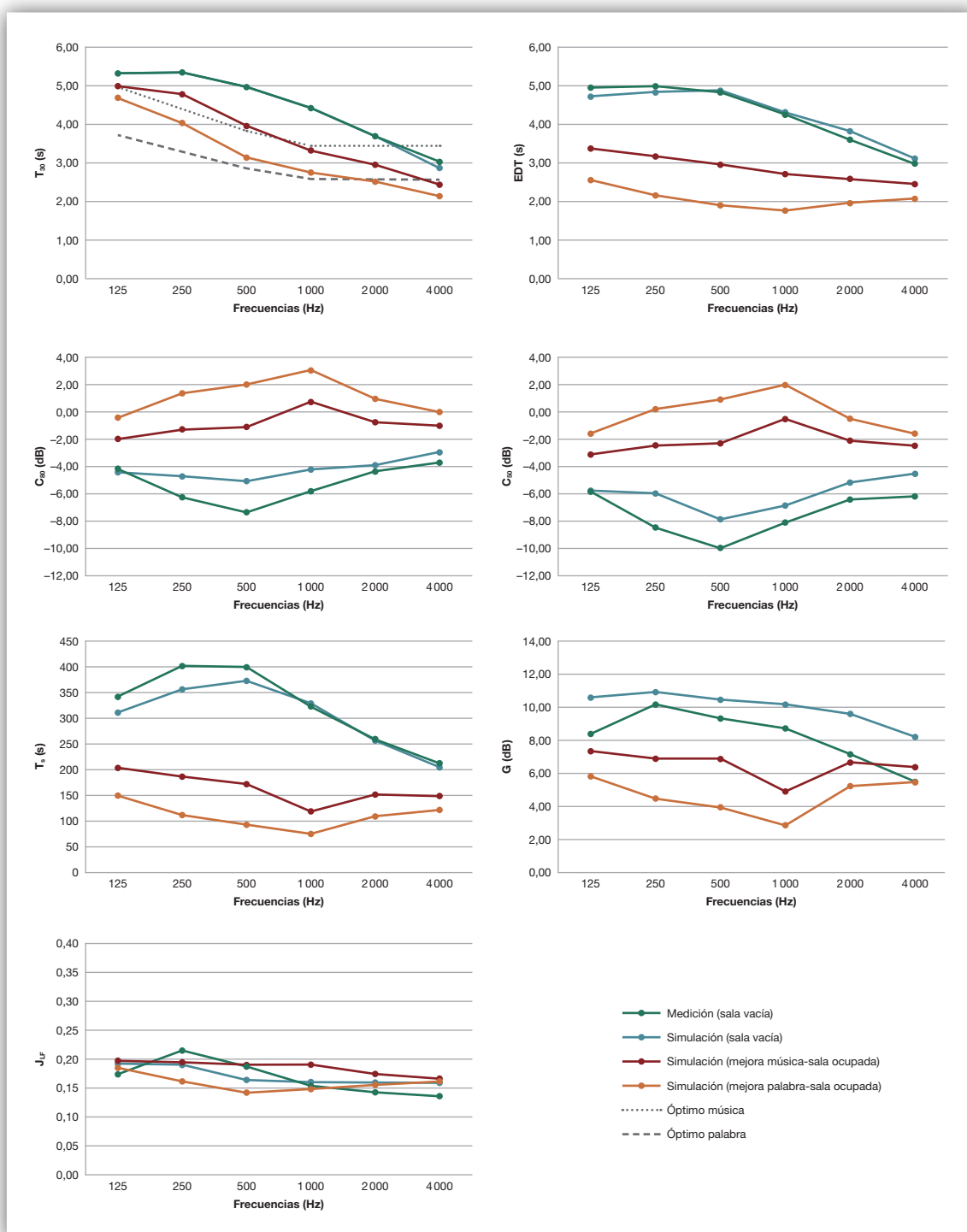


Figura 5. Comparativa de los parámetros T30, EDT, G, Ts, C80, C50 y JLF con y sin la mejora acústica para la música religiosa y la palabra.

Tabla 5. Resultados del parámetro STI y clasificación de la inteligibilidad del habla (sala ocupada).

	STI - Sin mejora		STI - Mejora (a)		STI - Mejora (b)	
Mínimo	0,27	Mala	0,31	Pobre	0,35	Pobre
Máximo	0,56	Aceptable	0,64	Buena	0,70	Buena
Promedio	0,41	Pobre	0,55	Aceptable	0,61	Buena

4. Conclusiones

La metodología propuesta permite realizar mejoras en el acondicionamiento acústico de recintos de culto, conociendo de antemano el resultado de la intervención a través de simulaciones acústicas. Las propuestas de intervención están limitadas al grado de protección de los recintos de culto, debiendo ser en todo caso de carácter reversible. En el caso concreto de la Catedral de Valencia, se ha realizado una propuesta de mejora acústica mediante la incorporación de elementos textiles decorativos reversibles. A través de simulaciones acústicas, se ha calculado el resultado de la propuesta de intervención y se ha analizado la variación de los parámetros acústicos T_{30} , EDT, G, C_{80} , C_{50} , T_s , J_{LF} y STI. Los resultados obtenidos resultan favorables para la acústica del recinto para sus dos usos fundamentales, la música religiosa y la palabra, siendo acordes con los obtenidos en estudios similares [9, 10, 11, 12].

Como línea futura de investigación, se plantea la posibilidad de validar la propuesta de mejora del acondicionamiento acústico de la Catedral de Valencia para la música religiosa y la palabra. Para ello, se propone realizar la simulación acústica y visual del interior del templo teniendo en cuenta los cambios propuestos y valorar la apreciación subjetiva de los oyentes mediante la realización de encuestas a través de una plataforma digital. Actualmente, está publicada la simulación acústica y visual del interior del templo en su estado actual en la página Web oficial del Grupo de Investigación en Acústica Virtual de la Universitat Politècnica de València [21].

5. Agradecimientos

Este estudio ha sido subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través de los proyectos de investigación BIA2012-36896 y BIA2016-76957-C3-3-R.

Agradecemos a la Catedral de Valencia por posibilitar el acceso para la medición acústica, en particular al canónigo Jaime Sancho. Asimismo, agradecemos a Jaume Segura, Rafael Fayos Salvador Cerdá, Rosa Cibrián, Arturo Barba, Radha Montell, Ana Planells, Joaquín Navasquillo y Radu Lacatis su colaboración.

6. Referencias

- [1] A. Pedrero, R. Ruiz, A. Díaz-Chyla y C. Díaz, «Acoustical study of Toledo Cathedral according to its liturgical uses,» *Applied Acoustics*, pp. 85, 23-33, 2014.
- [2] A. Planells Pérez, La acústica virtual en el estudio del patrimonio arquitectónico de la Basílica de Santa María y el Misteri d'Elx, [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València], 2017.
- [3] A. P. O. Carvalho, Influence of architectural features and styles on various acoustical measures in churches, [Tesis doctoral, Universitat de Florida], 1994.
- [4] M. Galindo, La acústica en espacios religiosos católicos: iglesias Gótico-Mudéjares, [Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla], 2003.
- [5] U. Berardi, «Simulation of acoustical parameters in rectangular churches,» *Journal of Building Performance Simulation*, pp. 7(1), 1-16, 2014.
- [6] C. L. Álvarez Morales, Acústica de grandes espacios de culto., [Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla], 2016.
- [7] A. Alonso Carrillo, El sonido de las catedrales de Sevilla y Granada: acústica y recuperación patrimonial, [Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla], 2016.
- [8] E. Alberdi Causse, El sonido en las iglesias barrocas de Leonardo de Figueroa. Caracterización y análisis evolutivo, [Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla], 2019.
- [9] A. Bueno, A. L. León y M. Galindo, «Iglesia de Santa Ana de Moratalaz. Propuesta de rehabilitación acústica.,» Evora, Portugal, 2012.
- [10] Á. Romero, E. A. Navarro y J. Segura, «Estudio y rehabilitación acústica de la iglesia Sant Agustí de Vinaròs (Castelló),» *Revista de acústica*, pp. 41(1), 28-43, 2010.
- [11] G. Iannace, U. Berardi, F. De Rossi, S. Mazza, A. Trematerra y G. Ciaburro, «Acoustic Enhancement of a Modern Church,» *Buildings*, pp. 9(4), 83, 2019.
- [12] C. Carmona, T. Zamarreño, S. Girón y M. Galindo, «Acústica virtual de la Iglesia de San Lorenzo de Sevilla,» de *Tecniacústica*, Cádiz, 2009.
- [13] La Catedral de Valencia, ©2021, «Representación del Cant de la Sibila,» [consulta: 15 marzo 2021], disponible en: <https://catedraldevalencia.es/blog/2017/12/15/representacion-del-cant-de-la-sibila/>.
- [14] R. Montell, A. Gimenez, S. Cerdá, J. Segura, R. Cibrián y A. Barba, «Influencia de la localización de la fuente sonora en los parámetros acústicos en la Catedral Metropolitana de Valencia,» *VIII Congreso Iberoamericano de acústica*, 2012.
- [15] I. Bork, «Report on the 3rd round robin on room acoustical computer simulation—Part II: Calculations,» *Acta Acustica united with Acustica*, pp. 753-763, 2005.

- [16] M. Vörländer, *Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*, Berlín: Springer, 2008.
- [17] T. J. Cox y P. D'Antonio, *Acoustic absorbers and diffusers: theory, design and application*, Londres y Nueva York: Taylor & Francis, 2009.
- [18] F. Martellotta, «Identifying acoustical coupling by measurements and prediction-models for St. Peter's Basilica in Rome,» *The Journal of the Acoustical Society of America*, pp. 1175-1186, 2009.
- [19] R. Höhne y G. Stroth, «The visibility of definition and clarity parameters in concert halls,» *Acta Acustica united with Acustica*, vol. 81, nº 4, pp. 309-319, 1995.
- [20] J. Sendra, T. Zamarreño, J. Navarro y J. Algaba, *El problema de las condiciones acústicas en las iglesias: principios y propuestas para la rehabilitación*, Sevilla: Universidad de Sevilla, 1997.
- [21] Grupo de Investigación en Acústica Virtual, «Catedral de Santa María de Valencia,» [En línea]. Available: <https://acusvirt.upv.es/2021/07/05/catedral-de-santa-maria-devalencia/>.
- [22] UNE-EN ISO 3382-1:2010 Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1: Salas de espectáculos. (ISO 3382-1:2009).

arena APTA

ALTAS PRESTACIONES
TÉRMICAS y ACÚSTICAS

PYL 122/600(70)LM
53,1 R_A
(dBA)

34 λ
mW/m.K

A1 Euroclase
Totalmente
incombustible

Hasta
2,60 R_t
m².K/W

No hidrófilo
WS ≤ 1
Kg/m²