

Acústica virtual patrimonial. Aplicación a la auralización del Misteri d'Elx



Planells, Ana; Segura, Jaume; Cerdá, Salvador; Barba, Arturo;
Cibrián, Rosa; Giménez, Alicia
Grupo de Investigación en Acústica Virtual.
Universitat Politècnica de València
acusvirt@upv.es

Premio Andrés Lara para jóvenes investigadores 2015
PACS: 43.55.Ka

Resumen

De las posibilidades que ofrece la acústica virtual, la auralización de señales en recintos virtualizados permite analizar, comparar y predecir su comportamiento en distintas condiciones para su posible mejora. Este estudio es de especial interés en salas en general pero más aún en los edificios patrimoniales.

En este trabajo se han analizado las particularidades acústicas de la Basílica de Santa María d'Elx, sede del Misteri, sin y con el acondicionamiento propio de la representación. Para la auralización de la señal anecoica se ha utilizado una grabación del canto en un contexto controlado y estudiado. Se presenta el resultado obtenido para una voz. Para ello se ha procesado la grabación deconvolucionando las características propias de la sala de registro que va a permitir escuchar el sonido real emitido en la representación religiosa.

Abstract

Auralization of virtual spaces allows to analyze, compare and predict their acoustic behaviour under different conditions in order to improve it. This is an interesting study in any room but especially when it comes to heritage buildings.

This paper studies the acoustic particularities of the Basilica de Santa María d'Elx, scene of the Misteri, under normal conditions and when it is enabled for the play. We have used a singing recorded in a controlled and studied environment to obtain the auralization of the anechoic signal. In the paper, it is presented the obtained recording for a single voice. For this purpose, the recording has been processed, filtering the characteristics of the recording room (at each point) which will allow to obtain the real/ anechoic sound emitted in the religious performance.

Introducción

Una de las características de los recintos de culto es su versatilidad de uso. Son espacios de reunión en los que tiene lugar la audición tanto de la palabra como de la música, por lo que se generan unas necesidades acústicas singulares al tratarse de diferentes tipos de señales con diferentes requerimientos. Así la acústica debe ser adecuada para la inteligibilidad de la palabra pero también apropiada para la música. Por este motivo es importante conocer el comportamiento acústico de estos espacios en ambos casos y las diferencias que se producen en función de la actividad que se está realizando [1].

En el caso de la basílica de Santa María de Elche, las variaciones en el uso del espacio adquieren especial importancia ya que además del culto y la celebración de

conciertos, este entorno es el escenario en el que cada año se representa el «Misteri d'Elx», obra teatral de origen medieval declarada Monumento Nacional en 1931 e incluida en la primera Proclamación de las Obras Maestras del Patrimonio Oral e Inmaterial de la Humanidad por la Unesco en 2001, y que condicionó la traza del templo [2].

La basílica tiene planta de cruz latina, con una sola nave cubierta con bóveda de cañón y lunetos (bóveda secundaria en forma de media luna). 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 y que puede modificar las características acústicas de la misma. Del mismo modo, el aforo en los días de la Festa, como se conoce también al Misteri, es considerablemente superior, ocupando prácticamente la totalidad de la planta inferior así como los balcones superiores, lo que repercutirá en un aumento significativo de la absorción durante la representación.

Metodología y resultados

Construcción de los modelos

En una primera parte de este trabajo se ha querido analizar cómo influyen sobre el comportamiento acústico de la basílica las variaciones propias de cada uso. Dadas las diferencias en el acondicionamiento del espacio para el culto y para la representación teatral, se han construido dos modelos diferentes incluyendo las disparidades mencionadas, como se muestra en la figura 1. Para ello se ha combinado el uso de programa de diseño AutoCAD que cuenta con mayor grado de precisión y con el que se ha construido una estructura alámbrica. Posteriormente se ha exportado a SketchUp para conformar las superficies ya que este último admite caras con ma-

yor número de lados reduciendo significativamente los polígonos necesarios para generar el modelo, además dispone de un plugin que permite exportar el modelo al software de simulación acústica.

Medición de parámetros acústicos

La toma de datos acústicos en la basílica se ha realizado para las dos configuraciones, tanto en su estado habitual como una vez colocadas la lona y las estructuras propias del Misteri. Se ha realizado empleando dos fuentes fuente dodecaédricas DO12 (Rated power 600W, Sound Power >120dB, Rango de frecuencias: 80 Hz-6.3 kHz, directividad: casi esférica) que se han situado en el altar y en el centro de la cúpula respectivamente.

Se han utilizado tres tipos de micrófonos. Los parámetros monoaurales se han medido con micrófonos G.R.A.S. tipo 40 AK (Sensitividad a 250Hz 50 mV/Pa, Rango de frecuencias: 3.15 Hz-20 kHz, Límite superior de rango dinámico (3% Distorsión): 164 dBre. 20μPa, Límite inferior de rango dinámico: 14 dB, re. 20μ Pa). Los parámetros espaciales con micrófono multipatrón AT4050/CM5 (rango de frecuencias: 20–20000 Hz, sensibilidad: 15.8 mV, patrones polares: cardioide, omni direccional, figura-de-ocho) y su correspondiente fuente de alimentación phantom. Por último, la medida de los parámetros binaurales se ha realizado con una cabeza HMS III.0 (rango de frecuencias: 3 Hz-20 kHz, -3 dB/+0.1 dB; rango dinámico: typ. >118 dB, max SPL 145 dB). La adquisición y posterior cálculo de medidas se ha realizado con el software WinMLS.

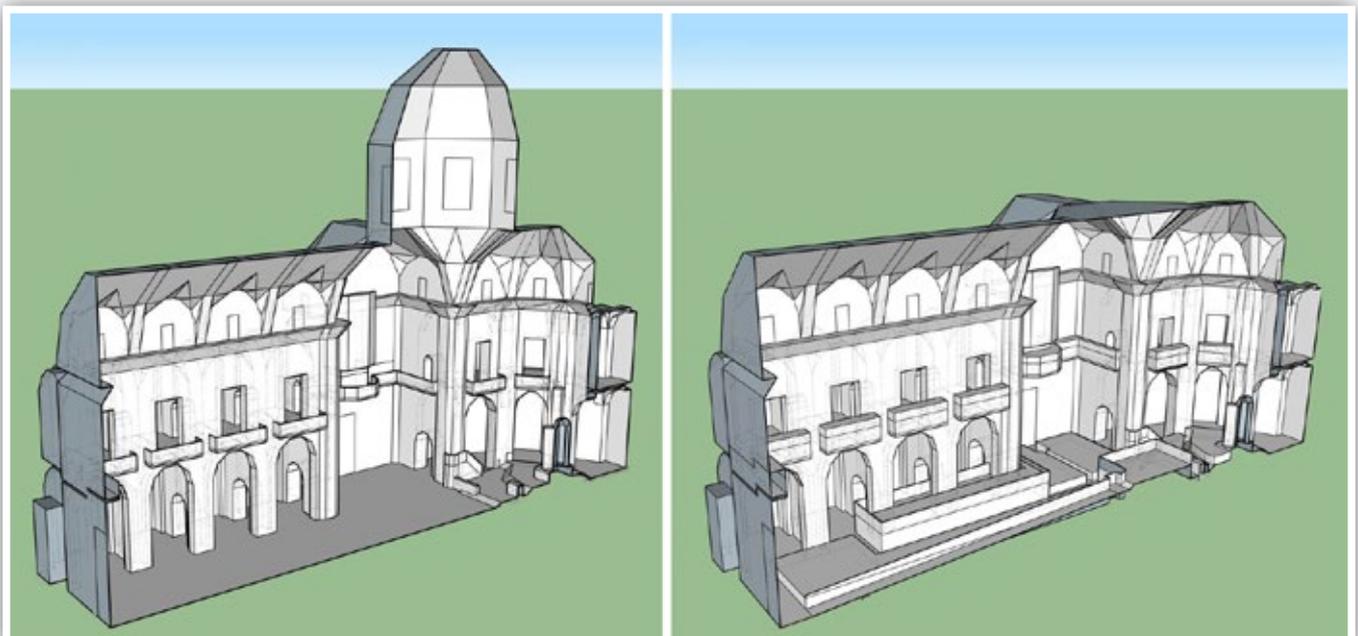


Figura 1. Modelos de la basílica para el uso de culto y la representación teatral. En el de la derecha se observan: cúpula cubierta tribunas y cadafal.

Tabla 1. Situación de las fuentes y los puntos de medida en plantas baja y primera con la distribución propia del culto y la de la representación del Misteri.

	Culto	Misteri
PB		
P1		

En el caso de la basílica acondicionada para el culto se han establecido 36 posiciones de receptor, todos ellos en la planta baja ya que la superior no suele utilizarse. Las posiciones se han distribuido entre la nave central, las cuatro capillas del lado de la epístola y uno de los laterales del transepto como se muestra en la Tabla 1. En la misma tabla se observa que, aunque no se han utilizado para la comparativa que se muestra en este trabajo, en el caso del Misteri se ha aumentado el número de posiciones de receptor añadiendo las capillas y transepto del otro lado y estableciendo una serie de puntos de medida en las tribunas que se colocan en la nave, el ábside, la girola y los balcones de la planta superior ya que el público se sitúa también en estas zonas durante la representación.

La figura 2 incluye los resultados de los parámetros promediados por frecuencias. El tiempo de reverberación medio para cada una de las situaciones es de 5,39 segundos para el culto y 4,87 segundos para la representación.

Observamos que las modificaciones para la representación reducen la reverberación considerablemente (3 JNDs para 1000 Hz). Por otro lado se observan para las bajas frecuencias diferencias considerables para los parámetros C80 y C50. Por último, el parámetro G presen-

ta diferencias notables tanto para las bajas frecuencias como para las altas manteniéndose constante para las frecuencias medias (Gmid no varía).

Medidas de absorción y simulación

Una vez establecidas las características geométricas de la sala, reflejadas en los distintos modelos, se han determinado los coeficientes de absorción de los materiales que la componen para asignarlos a cada una de las superficies. Dado que se trata de un edificio patrimonial cuyos materiales son singulares, difieren de los que suelen aparecer en catálogos, y pueden haber sufrido desgaste o variaciones por el paso del tiempo, se ha optado por llevar a cabo una medición in situ utilizando un aparato de la marca Microflown Technologies® formado por un micrófono y un sensor sensible a la velocidad de partícula y a la energía cinética de la onda sonora, por lo que permite medir la intensidad y la impedancia acústica. El protocolo de medida ha sido muy riguroso para evitar errores en los resultados [3].

Se han tomado medidas de los siguientes materiales: piedra de las paredes, mármol rojo del ábside, madera de los bancos y las puertas, madera y alfombra de las tribunas y cadafal del Misteri, vidrieras y pavimento de la planta superior. Para seleccionar los puntos de medida

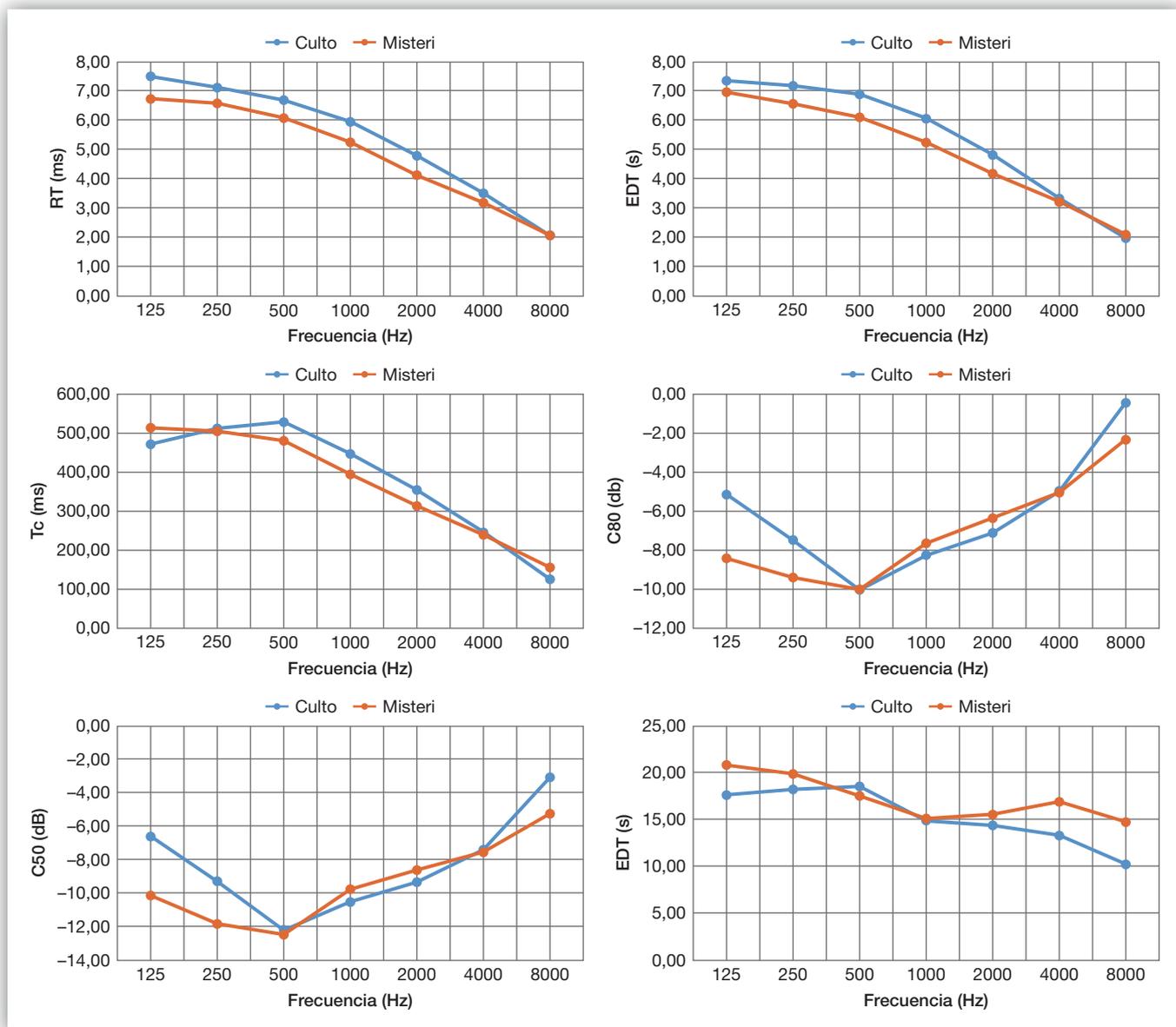


Figura 2. Resultados de las medidas.

se ha realizado un reconocimiento de las superficies con cámara termográfica para determinar si existían heterogeneidades en los materiales ya que de haberlas provocarían variaciones en el coeficiente de absorción del mismo. Se han tomado tres medidas en cada punto para posteriormente tomar la media aritmética de las tres una vez comprobado que la desviación era inferior al 5%.

Para la simulación acústica se ha empleado el software Odeon. Se han realizado varias simulaciones modificando los valores de dispersión de los materiales con las distintas opciones que da el software, y los de absorción, realizando pruebas con los valores de catálogo y los medidos [4]. La opción que ha permitido obtener mejores resultados y se ha empleado posteriormente para la auralización ha consistido en asignar a las superficies los coeficientes de absorción medidos in situ. Con

esta configuración se han obtenido valores casi idénticos a los medidos, para frecuencias medias, como muestra la Tabla 2.

Registro de la fuente cantada para obtener la señal dereverberada

Uno de los principales problemas para la obtención de auralizaciones en diferentes entornos es la obtención de grabaciones anecoicas (o equivalentes a las condiciones de campo libre) para poder realizar la convolución con las características acústico-energéticas en cada ubicación, a partir de la medida de la IR en cada punto del entorno a auralizar.

Para conseguir una grabación que nos permita lograr nuestro objetivo, se redujo el ruido de fondo y la reverbe-

Tabla 2. Comparativa de valores de T30 medidos y simulados.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
T30 Medido	7,51	7,18	6,74	5,99	4,86	3,57
T30 simulado	5,73	5,57	6,73	6,02	5,29	3,21
Diferencia	1,78	1,61	0,01	-0,03	-0,43	0,36
%	23,66%	22,46%	0,15%	-0,46%	-8,80%	10,17%

ración. Las pruebas fueron realizadas en la sala de ensayo de los cantores y escolanía del Misteri, ubicada en la Casa de la Festa en Elx. Se trata de una sala de planta rectangular de 8x16,70 metros con techo plano y una altura libre de 2,60 metros. Las paredes son ciegas a excepción de las puertas de acceso a la misma y de dos grandes huecos resueltos con ladrillos de vidrio que le aportan iluminación en uno de sus lados cortos. Para evitar la influencia de los ventanales en el comportamiento acústico de la sala se cubrieron los mismos con una cortina acústica. Se construyó una retícula siguiendo el pavimento de la sala de aproximadamente 55x55 cm para ubicar al cantor y conocer la distancia que los separaba de cada uno de los micrófonos. Se colocaron los ocho micrófonos normalizados, cuatro omnidireccionales y cuatro direccionales, en el centro de los lados y en las esquinas del cuadrado que circunscribía la retícula para rodear la fuente en la posición del cantor. Se realizaron grabaciones para una voy, dúo, tres voces, cuarteto y coro.

Para la obtención de la grabación anecoica de la canción monódica «Germanes mies» del Misteri d'Elx se ha registrado, en las condiciones explicadas a uno de los niños cantores de la Escolania. Por otra parte, con la sala vacía y fuente omnidireccional que se iba ubicando en los diferentes puntos de la cuadrícula, mediante una señal sweep se realizaron grabaciones con todos los micrófonos que nos permitirá obtener la IR de la sala. La grabación de un cantor se realizó registrando su localización y con los micrófonos en la misma situación. La figura 3 muestra las primeras reflexiones de las IRs registradas para cada uno de los micrófonos.

A partir de la respuesta impulsiva registrada en la localización del cantor por los ocho micrófonos, podemos diseñar un filtro inverso en dominio de la frecuencia (que corresponde a la función de transferencia) [5] del tipo que se muestra en la ecuación (1).

$$TF(f) = \frac{fft(IR_{ini})}{|fft(IR_{ini})|^2 + \delta} \quad (1)$$

En esta ecuación, se ha introducido un factor de regularización, que toma un valor de $d=10^{-2}$ Hz² y que es independiente de la frecuencia, el cual permite hacer que el filtro inverso sea estable. Además sólo hemos consi-

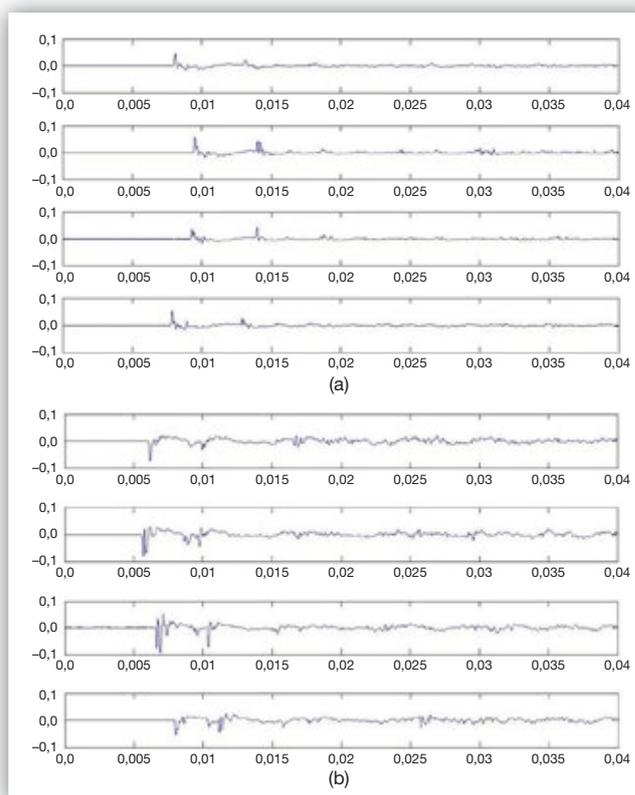


Figura 3. Respuestas impulsivas iniciales registradas en los micros cardioides (a) y omnidireccionales (b) con la fuente ubicada en la posición del cantor.

derado la señal a invertir hasta primera reflexión de la IR, por lo que el filtro únicamente refleja el sonido directo. En este caso hemos considerado que era suficiente con usar el intervalo temporal [0, 0.02] s para considerar la primera reflexión en la respuesta impulsiva inicial (IRini).

Esto lo hemos hecho en cada uno de los micrófonos de manera que hemos obtenido la función de transferencia de la fuente a cada micrófono. Finalmente, el producto de estas funciones con la transformada de Fourier de la señal cantada registrada ha permitido obtener la señal anecoica de la canción. Esta es la que hemos utilizado para auralizar la señal en el entorno.

El resultado de estas operaciones se observa en la figura 4 para uno de los micrófonos cardioides frontales a la fuente y el correspondiente omnidireccional ubicados en la misma línea, donde se representa el espectro de la

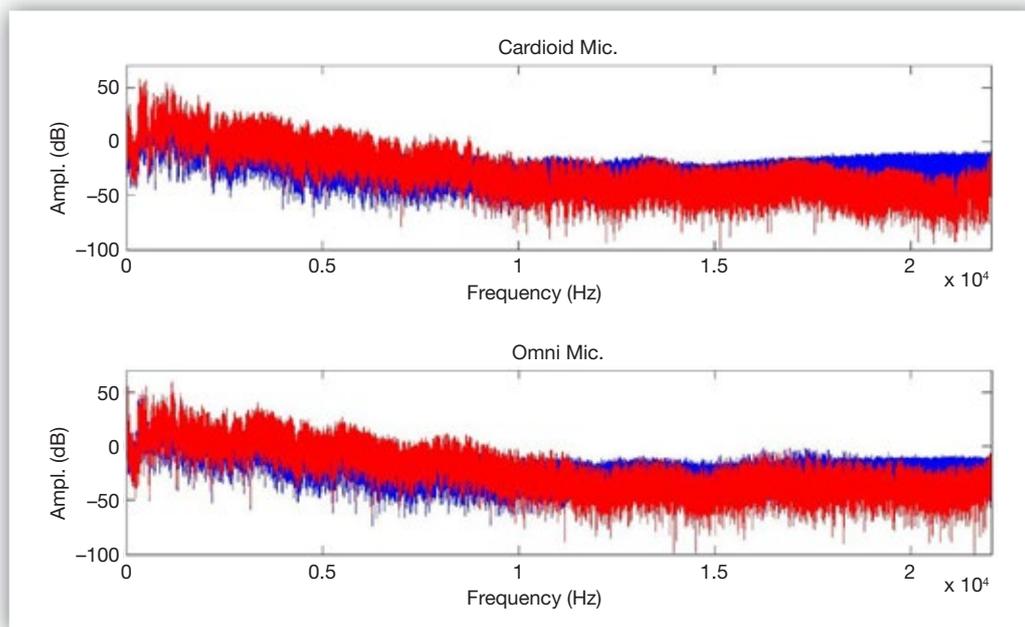


Figura 4. Espectro de las señales registradas original (en azul) y la dereverberada (en rojo) para uno de los micros cardioides y el micro omni frontales.

señal registrada original y la señal dereverberada aplicando el procedimiento explicado, después de aplicar un filtrado Wiener para reducir el ruido de fondo.

Auralización de la fuente cantor en el entorno simulado

Una de las características más importantes de la simulación acústica es la posibilidad de obtener respuestas impulsivas de diferentes entornos y de esta manera obtener auralizaciones en estos. En nuestro caso, la simulación de la Basílica de Santa María de Elche nos ha permitido obtener las señales auralizadas a partir de las respuestas impulsivas del edificio sin los paramentos del «Misteri» y con ellos.

Cada 14 y 15 de agosto, la iglesia de Santa María de Elche es el escenario de uno de nuestros Patrimonios Inmateriales Sonoros más emblemáticos, la «Festa del Misteri d'Elx», declarado Patrimonio Inmaterial de la Humanidad por la UNESCO en 2001.

La pieza que hemos seleccionado para su auralización en este entorno, es la que hemos dereverberado anteriormente, titulada «Germanes mies» y que fue registrada en febrero de 2014. Esta pieza es cantada por un niño que representa a la Virgen María en el inicio del andador, que es una especie de corredor en forma de plano inclinado que conduce desde la puerta de la iglesia hasta el «cadafal» o escenario que está situado entre el crucero y el presbiterio.

Se ha tomado como referencia para esta auralización la grabación dereverberada del micrófono omnidireccional frontal (respecto a la posición del cantor), que se pue-

de oír en [6]. En la simulación se ha obtenido la IR correspondiente ubicando la fuente cercana a la puerta principal del edificio en las dos condiciones que hemos explicado (con paramentos y sin paramentos). Los resultados los podemos oír en [7] y [8].

Conclusiones

En este trabajo se ha modelado el edificio de la Basílica de Santa María de Elche para la obtención de las características acústicas con paramentos y sin paramentos de la celebración del «Misteri d'Elx». Se han ajustado los modelos a partir de las medidas realizadas, tanto acústicas como de absorción. Como conclusión importante hemos obtenido que el modelo con las medidas de la absorción in situ se ajusta perfectamente en RT para las frecuencias medias.

Por otra parte, se ha registrado el Misteri d'Elx, interpretado por la Capella del Misteri, formada por 55 cantores entre niños y adultos, en su local de ensayo. A partir de este registro, se ha seleccionado una de las piezas de solista para dereverberarla y auralizar el resultado en los modelos realizados. Las auralizaciones se han comparado subjetivamente con el registro original.

Este trabajo se va a extender con la dereverberación de los registros de piezas corales ubicando las diferentes fuentes separadas en sus posiciones originales dentro de la escena en el edificio.

Nuestro objetivo final es la virtualización tanto acústica como visual del Misteri completo, algo nunca realizado por la dificultad que conlleva, pero que permitiría a

cualquier persona disfrutar de la representación sin necesidad de encontrarse físicamente en la basílica los días 13 y 15 de agosto.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad a través del proyecto de investigación BIA2012-36896. Agradecemos al Patronato Nacional del Misteri d'Elx, a los cantores y los responsables de la Basílica de Santa María su colaboración.

Referencias

- [1] Montell, R., Giménez, A., Cerdá, S., Segura, J., Cibrián, R., Barba, A. Influencia de la localización de la fuente sonora en los parámetros acústicos en la Catedral Metropolitana de Valencia. Congreso Tecniacústica 2012.
- [2] Sempere, J. La fiesta como tema y condición en Santa María de Elche. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia 1993.
- [3] Pérez, C., Cerdá, S., Montell, R., Cibrián, R., Segura, J., Barba, A., Querol, L., Giménez, A.
Metodología para medidas de absorción acústica in-situ mediante sensores de presión y velocidad. Congreso Tecniacústica 2013.
- [4] García, F. Acústica arqueológica y auralización de un edificio patrimonial, Misteri D'Elx - Basílica Santa María De Elche. Tesina de Máster. Universitat Politècnica de València 2013.
- [5] Ina Kodrasi, Timo Gerkmann, Simon Doclo; «Frequency-domain single-channel inverse filtering for speech dereverberation: Theory and practice». IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2014
- [6] Registro dereverberado de «Germanes mies». URL: <https://goo.gl/v0wO91>
- [7] Auralización en la posición original con la iglesia sin paramentos. URL: <https://goo.gl/H00bMj>
- [8] Auralización en la posición original con la iglesia con paramentos. URL: <https://goo.gl/Hffqob>



Eficiencia energética y sostenibilidad

Cuenta con nosotros para un mañana mejor

URSA mejora la sostenibilidad y eficiencia energética de los edificios en los que se instalan sus productos de lana mineral y poliestireno extruido (XPS). Nuestras soluciones aportan un mayor ahorro para los usuarios, un menor consumo energético y un descenso en las emisiones de CO₂.

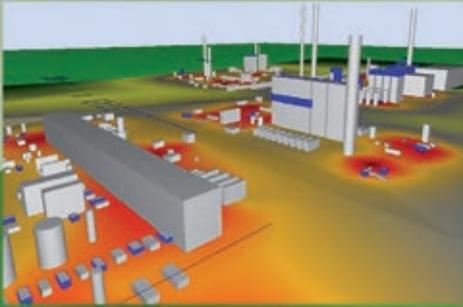
Aislando térmica y acústicamente nuestros hogares, oficinas o espacios de ocio conseguiremos mayor confort, durabilidad y seguridad. Nuestra experiencia es nuestra mejor garantía.

Contamos contigo para seguir construyendo URSA día a día.

Aislamiento para un mañana mejor



ESPECIALISTAS EN SOLUCIONES INTEGRALES DE INGENIERÍA ACÚSTICA



Simulaciones acústicas en entornos industriales



Laboratorio acreditado para ensayos acústicos ambientales y en edificación

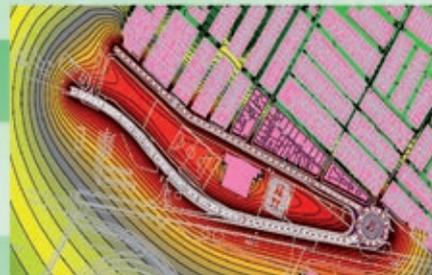


Nº de acreditación



Mapas estragéticos de ruido y planes de acción contra el ruido

Estudios de impacto acústico



C/ Zurbano, 48 · 28010 Madrid
Tel.: 913 271 818

ing.acustica@eurocontrol.es
www.acusticaec.com



@eurocontrol_es



Eurocontrol, S.A.