

## EL AMBIENTE SONORO EN LA CAPILLA DEL PALACIO DE SAN TELMO DE SEVILLA

PACS: 43.55.Gx

E. Alberdi; M. Galindo<sup>1</sup>; A.L. León; A. Bueno  
Universidad de Sevilla, Dpto. de Construcciones Arquitectónicas I, <sup>1</sup> Dpto. Física Aplicada II, ETS Arquitectura, IUACC.  
Avda. Reina Mercedes 2, 41012 Sevilla, España.  
Tel.: + 34 954 556 595. Fax.: +34 954 557 018. <sup>1</sup> Tel.: + 34 954 556 672. Fax.: + 954 557 892.  
E-Mail: [éalberdi@us.es](mailto:éalberdi@us.es), [mgalindo@us.es](mailto:mgalindo@us.es), [leonr@us.es](mailto:leonr@us.es), [anabueno@arquired.es](mailto:anabueno@arquired.es)

### ABSTRACT

The chapel of the Palace of San Telmo is a clear example of Spanish Baroque architecture, more specifically the Seville Baroque architecture, the work of master Leonardo de Figueroa (1670-1730), whose major works develop in Seville.

This chapel is currently hosting a series of concerts in order to provide it with cultural content. In order to assess the suitability of this space for different uses, involving both word and music, a study of the sound environment has been made from "in situ" measured impulse responses, considering locating the different sound sources and audience areas.

### RESUMEN

La capilla del Palacio de San Telmo es un ejemplo claro de la arquitectura barroca española, más concretamente de la arquitectura barroca sevillana, obra del maestro Leonardo de Figueroa (1670-1730), cuyas obras principales se desarrollan en la ciudad de Sevilla.

Esta capilla acoge actualmente ciclos de conciertos con el objeto de dotarla de contenido cultural. Con el fin de valorar la idoneidad de este espacio para distintos usos, que involucran tanto a la palabra como a la música, se ha realizado un estudio del ambiente sonoro del recinto a partir de las medidas "in situ" de las respuestas al impulso, teniendo en cuenta la localización los diferentes focos sonoros y zonas de audiencia.

### INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista acústico, en general, las iglesias barrocas significaron una mejora en las condiciones para la música y el habla en comparación con las anteriores iglesias renacentistas, principalmente debido a su menor volumen, su ornamentación así como a la mayor presencia de capillas laterales [1], [2], [3]. Por otra parte, la música toma una mayor relevancia en las celebraciones religiosas de este período y las grandes celebraciones adquieren un desarrollo notable, incorporando rituales y ceremonias donde los gestos

adquieren gran relevancia [2]. Todas las medidas que conllevan estas celebraciones en cuanto a la ornamentación, también contribuyen a la mejora de la acústica de las Iglesias tanto para la música como para la palabra. No obstante, hay que tener en cuenta que la predicación de la palabra no tiene especial relevancia en este período, ya que se oficiaban en latín, que era lengua no conocida por la mayoría de los fieles, por lo que en principio, hasta el Concilio Vaticano II, no se consideran medidas en el diseño arquitectónico para la mejora de la inteligibilidad.

En este marco temporal desarrolla su obra Leonardo de Figueroa, uno de los principales maestros barrocos andaluces. Nacido en Utiel (Valencia) en 1654, se afincó en Sevilla entre los años 1670 y 1675 donde comienza su aprendizaje en el oficio de la albañilería de la mano del maestro José García.

La figura de Leonardo de Figueroa resulta fundamental para conocer el barroco andaluz y más concretamente el barroco sevillano. Entre las primeras obras señaladas en las que trabaja el maestro cabe destacar el Hospital de la Santa Caridad, donde interviene posiblemente en las obras correspondientes al patio, combinando estos trabajos con su intervención en el hospital de Los Venerables. Al mismo tiempo realiza sus trabajos en el Hospital de los Venerables (1689-1697), donde comienza el desarrollo de su conocimiento sobre el lenguaje barroco, particularizado en sus obras posteriores. En el año 1691 recibe el encargo de la reforma del convento dominico de San Pablo (1691-1709), actual parroquia de La Magdalena, actuando sobre un edificio existente de origen medieval para adaptarlo al gusto barroco del momento. Esta obra marca un antes y un después en la realización su ejercicio profesional, desarrollando este trabajo coetáneamente a su intervención en la Iglesia del Divino Salvador, terminada en 1712, y según últimos estudios publicados, también sobre intervenciones en la Capilla Mayor de la iglesia de San Vicente, aspectos que nos revelan la amplia actividad profesional que se desarrolla en la ciudad de la mano de Figueroa.

Entre los años 1721 y 1724 interviene en las obras del Palacio de San Telmo, tanto en su fachada como en la capilla de dicho palacio (Figura 1). Por último destacar la que puede clasificarse como su gran obra maestra, la Iglesia de San Luis de los Franceses (1699-1730).

Todas las obras mencionadas son hitos arquitectónicos barrocos de la ciudad de Sevilla, y en ellas Leonardo de Figueroa desarrolla, con un lenguaje muy particular, toda la ornamentación propia de este estilo, adaptando el mismo a los materiales y sistemas constructivos existentes en esos momentos en su ámbito de trabajo. Ejemplo de ello son las ménsulas-capitel invertidas que se observan en sus obras, tratando de dotar a los edificios de un marcado carácter dinámico. Otros aspectos desarrollados en sus obras son el empleo de ladrillo avitolado, con la práctica eliminación de juntas verticales e intensificando las horizontales, así como, la aplicación de cerámica policromada en remates de cúpulas, tejados, espadañas, campanarios y chapiteles.



**Figura 1.** Vista general del Palacio de San Telmo. Eje central portada-capilla.

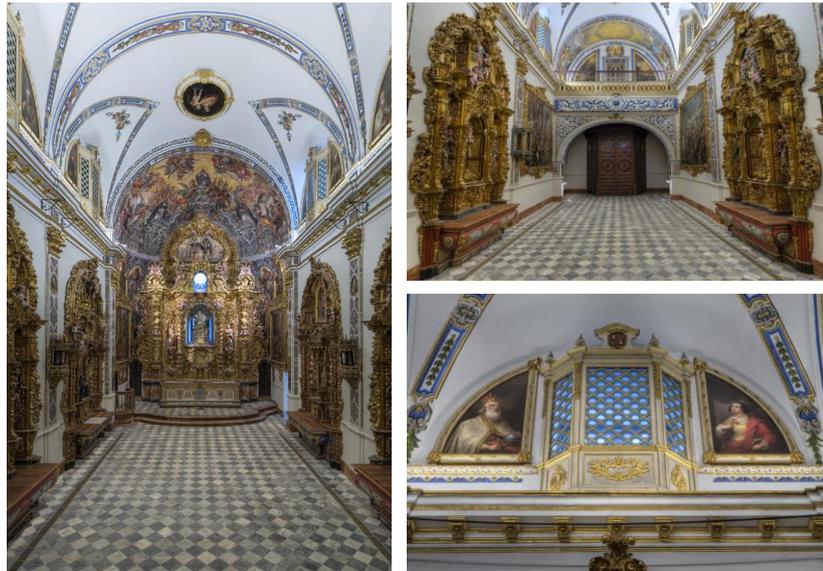
## **CAPILLA DEL PALACIO DE SAN TELMO**

En el año 1681 y bajo el patrocinio de la Corona se funda el colegio seminario para acoger a los niños huérfanos y enseñales el oficio de la marinería. Es por este motivo por lo que en el año 1682 se inicia la construcción del colegio en una finca próxima a la ciudad de la mano del

arquitecto Antonio Rodríguez bajo cuya dirección continúan las obras hasta su muerte en el año 1707, teniendo constancias de la continuación de las obras hasta el año 1713 en las que quedan paralizadas.

Entre los años 1721-1724, es Leonardo de Figueroa el que retoma la dirección de las obras levantando nuevos planos y cambiando el eje central del edificio formado por la portada, el zaguán el claustro principal y la iglesia.

La obra del palacio de San Telmo, y con ello su capilla ( ver Figura 2 y 3) [4] pertenece a la última etapa del maestro Figueroa correspondiente a su madurez. Se trata de una iglesia de una sola nave con bóvedas de cañón y lunetos, como ya desarrollara en otras obras. No obstante, se aprecian algunas variaciones como son el uso de pilastras corintias entre las que enmarcan retablos y cuadros que cubren sus alzados interiores. Destaca igualmente la existencia de un coro



**Figura 2.** Imágenes interiores de la nave de la capilla. Vista izqda. desde el acceso principal hacia el altar y dcha. desde altar hacia el coro. Detalle de los balcones interiores.

a los pies de la nave en su acceso principal, así como comunicación mediante pequeños balcones desde la planta alta del palacio hacia la capilla a ambos lados de la nave de la iglesia. Entre los retablos cobra especial relevancia el principal, que cuenta con un camarín, destacando en el mismo la cúpula de su recinto alto de configuración ondulada, siendo este elemento una singularidad en la arquitectura barroca sevillana.

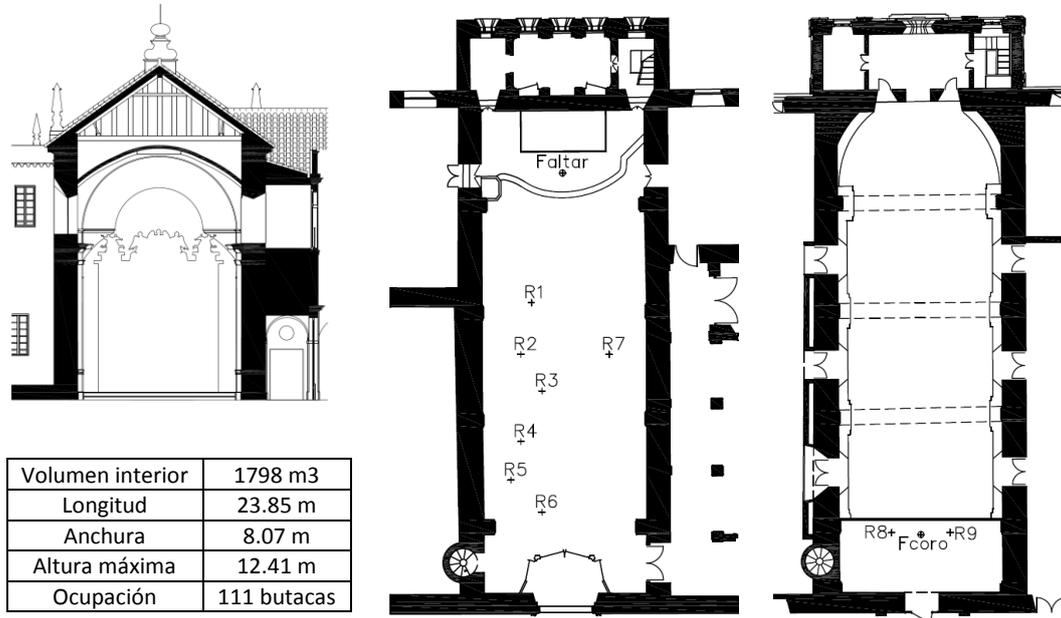
En cuanto a los materiales que configuran la piel interior de la capilla los cerramientos interiores y bóvedas están enfoscados con un mortero de cal que es el soporte de los frescos que forman parte de la ornamentación. Cabe destacar el altar principal de madera policromada ocupando gran parte de la superficie de la cabecera así como cuatro altares menores en los muros laterales de la capilla, igualmente de madera policromada, y unos grandes lienzos a ambos lados a los pies de la nave. Con respecto al solado es de mármol en toda su superficie.

La puerta de acceso principal cuenta con un cancel de madera. El resto de puertas de accesos menores y de comunicación con el camarín del altar principal, son de madera, no contando con cancel.

Por último, destacar que la capilla no cuenta con bancos fijos, instalándose sillas tapizadas para los casos en los que es necesario llevar a cabo una celebración.

La configuración actual de la capilla corresponde con la inicial de Leonardo de Figueroa siendo uno de los pocos espacios del palacio que han mantenido intacta su arquitectura y su dotación artística, en gran parte gracias a un importante proceso de rehabilitación por parte del IAPH (Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico) entre los años 2005 y 2010, dentro de un proyecto

que comprendía tanto la restauración de la capilla como otros bienes muebles del Palacio de San Telmo [5].



**Figura 3.** Sección transversal (izqda.), planta baja (centro) y alta (drcha.) de la capilla del Palacio de San Telmo. Posición de fuentes (F) y receptores (R) y datos geométricos y de aforo.

## MEDIDAS EXPERIMENTALES

Para la realización de las medidas se ha seguido el procedimiento establecido en la norma UNE-EN ISO 3382-1:2010 [6].

La sala se encontraba vacía de público. El uso institucional al que está dedicado actualmente la capilla cuenta con sillas tapizadas distribuidas de manera homogénea en la zona de audiencia así como la presencia de un piano en la zona próxima al altar, (Figura 4). La temperatura era 22,4°C y la humedad relativa del 56%. Las fuentes se ubican en dos puntos, el altar y el coro a una altura de 1,50 m sobre el plano del suelo, coincidiendo con la altura del orador. Los receptores distribuyen de manera uniforme entre las sillas existentes de manera homogénea y considerando la simetría existente en la configuración de la sala con respecto a las fuentes. Se establece una posición para el receptor (R7) que permite verificar el comportamiento simétrico de la sala en cuanto a su acústica. Todos los micrófonos se sitúan a una altura de 1,20 m sobre el nivel del suelo, correspondiente con la posición del oyente sentado. El ruido de fondo medido para la posición del receptor R3, corresponde a la curva NR 30dB, valor que resulta adecuado al límite aceptable de 35 dB.



**Figura 4.** Posición de las sillas tapizadas.

En cada receptor obtenemos respuesta al impulso (RI) a partir de señales de onda sinusoidales de barrido exponencial. El rango de frecuencia y la duración de cada barrido se ajustan para

adaptarse a las condiciones del entorno, de manera que la relación señal/ruido impulsiva supere los 45dB en todas las bandas de octavas analizadas.

El proceso de generación de la señal, registro de la respuesta y análisis de la misma se ha realizado mediante el sistema WinMLS2004 sobre una tarjeta de sonido Edirol UA 101 de Roland. La señal generada por el sistema es amplificada por el amplificador Beringher Eurolive B1800D-Pro y enviada a la fuente omnidireccional AVM D012 de 01dB. Las respuestas al impulso (RIs) se reciben en varios micrófonos:

- Respuesta omnidireccional: Micrófono multipatrón AT4050 de Audio-Technica con configuración omnidireccional conectado a fuente de polarización Soundfield (SMP 200).
- Parámetros relacionados con la impresión espacial: Se utiliza el mismo micrófono multipatrón AT4050 de Audio-Technica tomando la posición del patrón de directividad en figura de ocho, conectando a la fuente de polarización Soundfield (SMP 200).
- Coefficiente de correlación cruzada interaural (IACC): Se utiliza el simulador de torso HMS III de Head Acoustic, junto con el acondicionador de señal B&K 2829.
- Ruido de fondo: Se emplea el micrófono B&K 4165 de Bruel & Kjaer conectado al analizador de ruido SVAN 958 de SVantek.

## RESULTADOS

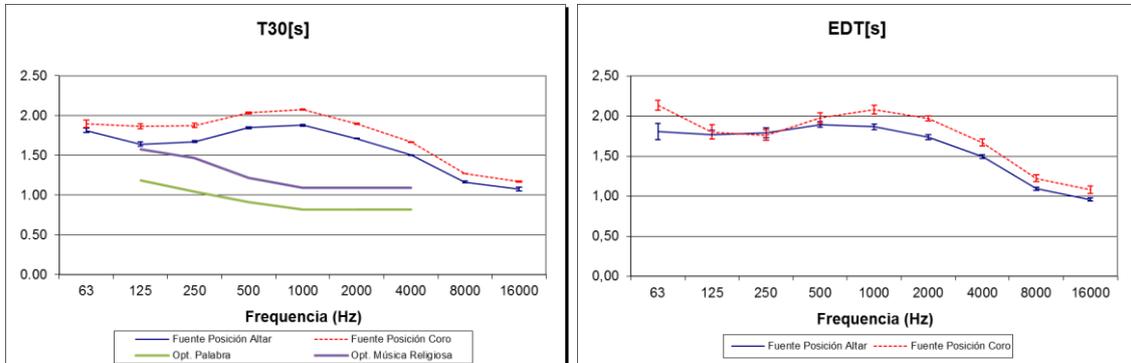
Los parámetros acústicos que se obtienen de la medición in situ pueden asociarse a una característica subjetiva del recinto. En concreto, se analizan los aspectos recogidos en la Tabla 1:

ASPECTO SUBJETIVO	PARÁMETRO FÍSICO	UNIDAD
Reverberación	$T_{30}$ : Tiempo de reverberación	s
	EDT: Tiempo de reverberación inicial	s
Distribución sonora	G: Fuerza sonora	dB
Inteligibilidad de la palabra y claridad musical	$C_{80}$ : Claridad musical	dB
	$C_{50}$ : Claridad para la palabra	dB
	$D_{50}$ : Definición	-
	STI: Índice de transmisión de la palabra	-
	$T_s$ : Tiempo central	ms
Ruido de Fondo	NR	-
Sensación envolvente	$L_l$ : Nivel sonoro lateral final	dB
	$IACC_l$ : Coeficiente de correlación cruzada interaural tardío	-
Ancho aparente de la fuente	$J_{LF}, J_{LFC}$ : Fracción de energía lateral precoz	-
	$IACC_E$ : Coeficiente de correlación cruzada interaural temprana	-

Tabla 1. Parámetros acústicos objetivos obtenidos de las mediciones realizadas.

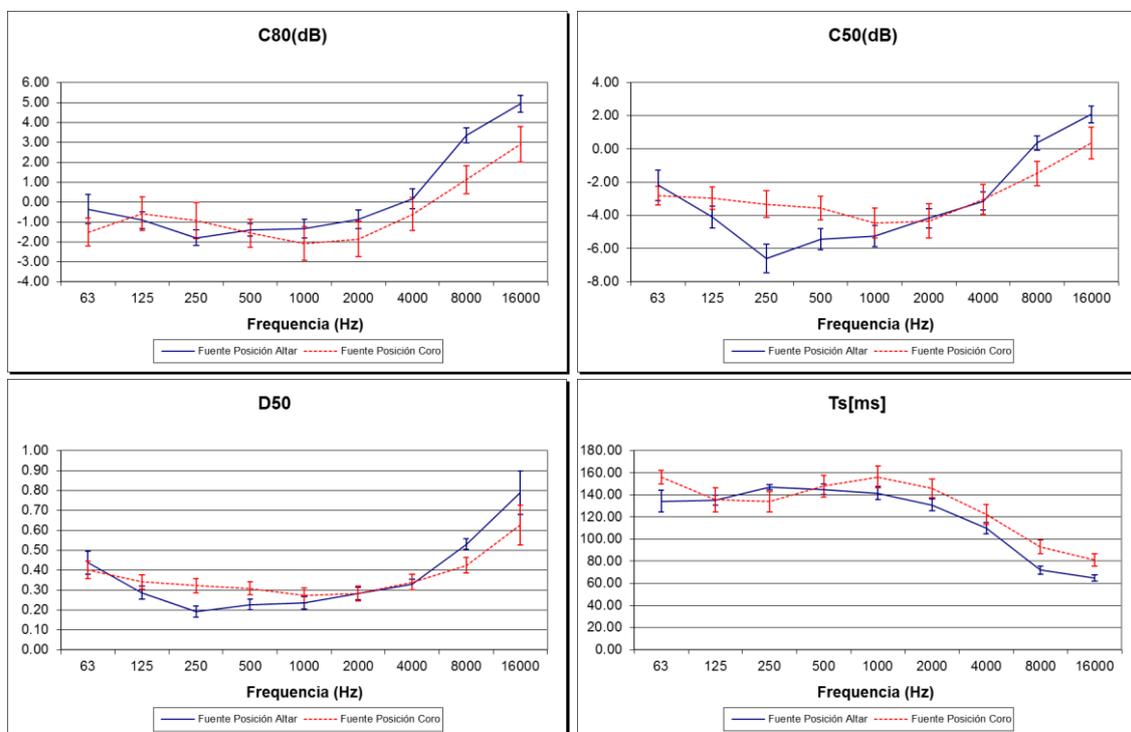
En la Figura 5 se representan los valores de  $T_{30}$  y EDT frente a la frecuencia promediados espacialmente para ambas fuentes. Las barras de error corresponden a los valores del error estándar. Los valores de  $T_{30}$  cuando la fuente se sitúa en el coro son algo más elevados que cuando se sitúa en el altar debido a los huecos que presenta el altar mayor y que conecta con el camarín. Las dispersiones son bajas con mayores valores para las bajas frecuencias que rondan los 0,03 y 0,04 sg. Por otra parte, si se comparan los valores obtenidos para  $T_{30}$  con los óptimos dados por Knudsen et al [7], se observa que para ambas fuentes y especialmente para las bandas de octavas a partir de 250 Hz existen importantes diferencias desde 0,20 s a 1,00 s para los distintos tipos de música superándose los valores de 1.00 s de diferencia cuando se compara con los óptimos para la palabra. Las mayores diferencias corresponden a las frecuencias medias. Los valores de EDT son muy similares a los de  $T_{30}$  por lo que para las posiciones de las fuentes estudiadas las reflexiones tempranas se distribuyen de forma homogénea. Por otra parte Arau [8] ofrece unos valores de EDT recomendados para los distintos usos. En ese sentido, puesto que la relación entre los valores medios de  $T_{30}$  y los de

EDT oscila entre 0,90 y 1,00, la acústica de la sala sería más adecuada para el uso musical, no así para la palabra.



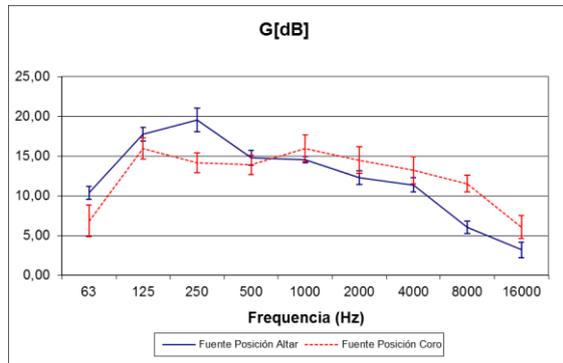
**Figura 5.** Reverberación. Tiempo de reverberación (T30) y Tiempo de reverberación inicial (EDT) frente a la frecuencia, para las bandas de octava, promediado espacialmente para las posiciones de la fuente indicadas. Las barras de error corresponden al error estándar.

En cuanto a la inteligibilidad y la claridad musical en la figura 6 se muestran los valores obtenidos para los distintos parámetros. En todos los casos las dispersiones aumentan por ser parámetros sensibles a la posición en el interior del recinto. Los valores de  $C_{80}$  comparados con los valores los recomendados por Beranek para auditorios (sala vacía) [9] o con los valores dados por Marshall (sala ocupada) [10] en ambos casos son adecuados para el uso musical, ya que los valor de  $C_{80}(3)$  (valor medio de las bandas de 500, 1000 y 2000 Hz) están dentro de los límites establecidos por estos autores. Con respecto a la claridad de la palabra para ambas fuentes el valor de  $C_{50}$  (speech average), siguiendo la clasificación dada por Marshall [10], se clasificaría la sala como pobre, con un peor resultado cuando la fuente se sitúa en el altar.

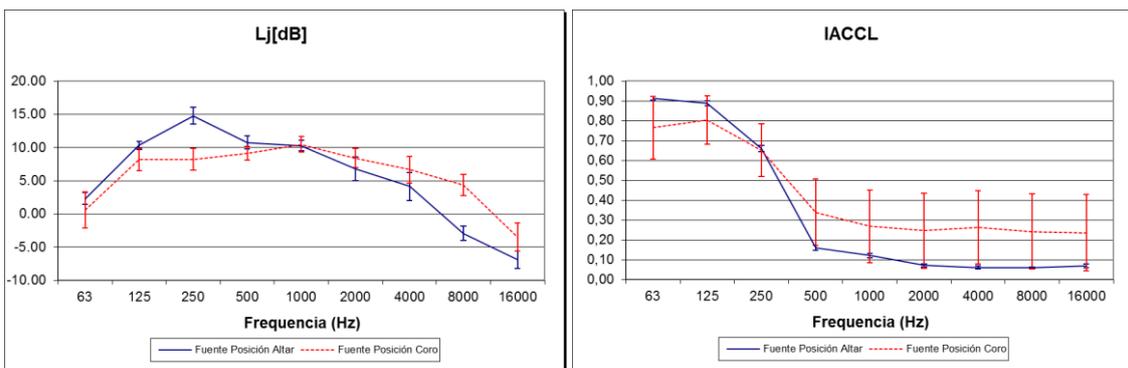


**Figura 6.** Inteligibilidad de la palabra y claridad musical. Claridad musical ( $C_{80}$ ), Claridad para la palabra ( $C_{50}$ ), Definición ( $D_{50}$ ) y Tiempo central ( $T_s$ ) frente a la frecuencia.

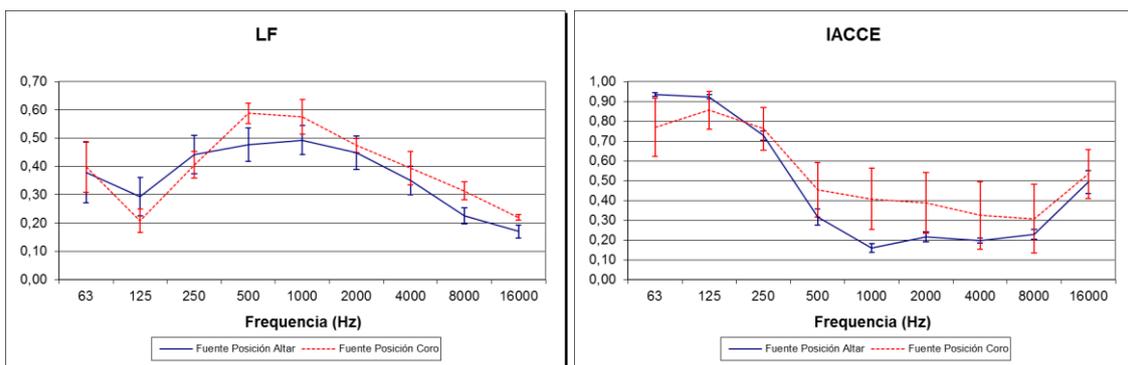
En relación con la definición ( $D_{50}$ ) se aprecia unos resultados similares a los de la claridad para la palabra, siendo sensiblemente peores los resultados que se obtienen cuando la fuente se ubica en el altar. Si tomamos los valores dados como óptimos por Arau para uso teatro y los asociamos al uso de palabra, los valores obtenidos son muy insuficientes en todos los casos ya que deben estar en torno a 0,65 y la posición del altar oscila para las bandas entre 125 y 4000 Hz entre 0,19 y 0,33 y para la posición del coro entre 0,27 y 0,34. Si comparamos con el uso musical el valor recomendado para  $D_{50}$  sería igual o superior a 0,5 quedando aún muy distante de este valor pero si con mejor adecuación que para la palabra. No obstante los valores del tiempo central se encuentran dentro del rango típico [6]. Este comportamiento se corrobora atendiendo a los valores del índice STI que presenta valores en el límite de calificación del recinto entre pobre y aceptable (0,45).



**Figura 8.** Distribución sonora. Fuerza acústica (G) frente a la frecuencia.



**Figura 9.** Sensación envolvente. Energía lateral tardía ( $L_j$ ), Coeficiente de correlación cruzada interaural tardío ( $IACCL$ ) frente a la frecuencia.



**Figura 10.** Ancho aparente de la fuente. Energía lateral precoz ( $L_{jF}$ ) y Coeficiente de correlación cruzada interaural temprana ( $IACCE$ ) frente a la frecuencia.

En la Figura 8 se presentan los valores de la Fuerza sonora para las diferentes bandas de octava. En todas ellas los valores resultan adecuados al tratarse de un recinto de pequeño volumen y exceso de reverberación.

Con respecto a los valores relacionados con la impresión espacial y en particular con la sensación envolvente, en la Figura 9 se presentan los valores de  $L_j$  y  $IACCL$  promediados espacialmente frente a la frecuencia. Los valores obtenidos para ambos parámetros muestran

que el oyente está inmerso en el campo sonoro con valores altos del Nivel sonoro lateral final y valores de  $IACC_L$  próximos a 0 para ambas posiciones de fuente, entre las bandas de octava de 500 a 4000 Hz. El otro aspecto de la impresión espacial lo describe el ancho aparente de la fuente, que a tenor de los valores obtenidos para la Fracción de energía lateral precoz y del  $IACC_E$  (Figura 10) permite al oyente ubicar con suficiente adecuación las fuentes sonoras.

## CONCLUSIONES

La Capilla del Palacio de San Telmo del maestro Figueroa es una obra clave de barroco español, y más concretamente del barroco andaluz, que ha llegado hasta nuestros días, tras un importante proceso de rehabilitación, prácticamente fiel a su concepción original. En ella se aprecia la importancia de los acabados y la decoración propios de este estilo, adaptados en gran parte a los materiales propios de su ámbito de construcción. Es el uso de estos materiales, combinados con la importante decoración de sus altares y otros elementos de ornamentación los que confieren a estos espacios unas características acústicas notablemente mejores que las que poseían las anteriores iglesias renacentistas. No obstante, las variaciones con respecto a su anterior periodo, aunque mejoran su acústica, no recogen medidas precisas encaminadas al acercamiento de La Palabra a los fieles, desconocedores en gran parte del latín.

Como se observa en el estudio realizado, aunque la capilla por su volumen y geometría presenta un adecuado nivel sonoro subjetivo y una adecuada sensación espacial, tiene un exceso de reverberación, que limitan la claridad del sonido percibida. Si bien el uso actual, predominantemente musical, es más adecuado, el uso para la palabra está comprometido.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al estudio de Vázquez Consuegra su colaboración por los planos de la capilla y a la Institución del Palacio de San Telmo por el acceso para las medidas.

## REFERENCIAS

- [1] Cirillo, E. y Martellotta, F. "Worship, acoustics and architecture". Brentwood, Essex: Multi-Science Publishing CO. LTD, (2006).
- [2] Sendra, J. J. y Navarro, J. "La evolución de las condiciones acústicas en las iglesias del paleocristiano al tardobarroco". Universidad de Sevilla, Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción, (1997).
- [3] Carvalho, A. "Relations between rapid speech transmission index (RASTI) and other acoustical and architectural measures in churches". Applied Acoustics, 58, 33-49 (1999).
- [4] <http://www.juntadeandalucia.es/organismos/presidencia/areas/san-telmo/recuperacion/paginas/galeria-imagenes.html> (visitada 05/09/2014).
- [5] <http://www.iaph.es/web/canales/conservacion-y-restauracion/proyectos-destacados/san-telmo.html> (visitada 05/09/2014).
- [6] 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).
- [7] Knudsen VO, Harris CM. "Acoustical designing in architecture". 5th ed. New York: Acoustical Society of America, (1988).
- [8] Arau, H. "ABC de la acústica arquitectónica". Barcelona, CEAC, (1999).
- [9] Beranek, L. L. "Concert and opera halls: how they sound", Nueva York, Acoustical Society of America, 1996.
- [10] Marshall, L. G. "An acoustics measurement program for evaluating auditorium based on the early/late sound energy ratio", J. Acoust. Soc. Am., 96 (4), 2251-2261, 1994.