

## Rehabilitación acústica de la Iglesia del Carmen de Vélez-Málaga

*T. Zamarreño, J. Sendra, F. Nieves, J. Navarro, J. Algaba y A. León*

*Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. E. T. S. de Arquitectura.  
Universidad de Sevilla. Avda. Reina Mercedes, 2. 41012-SEVILLA*

### INTRODUCCION

El actual Teatro del Carmen de Vélez-Málaga es el resultado de una reciente obra de rehabilitación y adaptación realizada por la Junta de Andalucía, dentro de su Programa de Rehabilitación de Teatros. El proyecto ha sido elaborado y dirigido en su ejecución por el arquitecto A. González Cordón, contando con nuestro asesoramiento acústico. El uso principal de la sala es el teatral, aunque ha sido equipada con los medios necesarios para su adaptación a otros usos: exposiciones, conferencias, conciertos...

Su particularidad es que procede de una adaptación de principios de siglo de una iglesia conventual de planta barroca, perteneciente al desamortizado Convento del Carmen, para convertirla en sala teatral. Desde 1970 estaba en desuso, hasta que, en 1995, se finalizaron las mencionadas obras de rehabilitación. A pesar de que se trataba de la rehabilitación de un teatro, el hecho de que estuviese instalado sobre una iglesia barroca abovedada, de más de 15 m de altura, estrecha y larga, dio lugar a que se partiese de una sala inadecuada para lograr unas buenas condiciones acústicas, muy diferente desde luego de las tipologías teatrales más usuales. Además, constituía un punto esencial en la redacción del proyecto, recuperar el espacio interior eclesial, grave y deficientemente alterado, desde un punto de vista arquitectónico, en intervenciones anteriores. Contando con este requisito formal, previo y principal, en el proyecto se proponen, y luego se acometen, algunas soluciones correctoras, cuya incidencia se ha revelado positiva, desde un punto de vista acústico. Las principales son las siguientes:

- a) Se conforma un espacio de sala interno al propio espacio eclesial, disponiendo una gran área de cortinajes de terciopelo despletables, pesados y fruncidos, que constituyen mecanismos eficientes para controlar la absorción variable de la sala, según el uso.
- b) La sala se cierra por uno de sus laterales, el más próximo a la calle, adyacente al vestíbulo de acceso, mediante un muro cortina de vidrio, con luna exterior de seguridad (6+12+3+3) y vidrio templado de 10 mm en el interior, lo cual contribuye al aislamiento acústico.
- c) Se mantiene la forma de cubrir la nave mediante bóveda. Ahora bien, se ejecuta mediante una estructura de madera laminada, con un doble tablero de madera contrachapado por su cara interior, siendo el material exterior el cobre, dispuesto sobre rastreles. Además, se aísla, tanto térmica como acústicamente, proyectando lana de roca antes de colocar las mencionadas planchas de cobre.
- d) Se equipa a la sala de un eficaz sistema de butacas móviles y desmontables, dispuestas en forma escalonada en la segunda parte de la nave principal y en

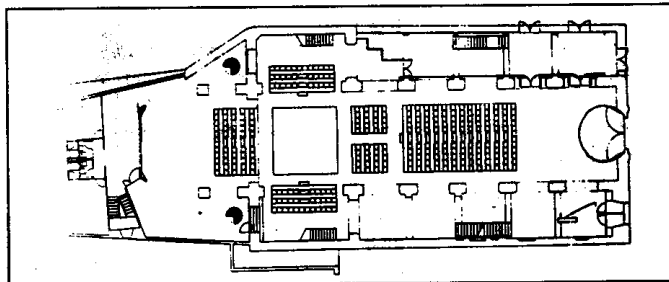


Figura 1

el crucero, lo cual produce una gran versatilidad en cuanto al uso, sin perder con ello la superficie de absorción sonora necesaria.

- e) Se monta una estructura para soportar una grúa puente, por encima de la nave, a la altura de la cornisa, que podría utilizarse para la instalación de reflectores acústicos.

En la fig. 1 se presenta la planta del edificio tras la rehabilitación. Las dos posibilidades de ocupación más usuales son: para actuaciones musicales o teatro moderno, escenario en el centro del crucero constituido por una plataforma que se eleva, y para teatro o conferencias, escenario detrás del crucero.

### TIEMPO DE REVERBERACIÓN

No fue posible hacer medidas previas a la rehabilitación, por lo que se realizaron estimaciones teóricas de  $T_R$  mediante las fórmulas clásicas, teniendo en cuenta las medidas correctoras propuestas ya en el anteproyecto y utilizando los valores de  $\alpha$  que ofrecen las fuentes bibliográficas[1].

Las medidas se realizaron mediante el método del impulso integrado. Como impulso se utilizó un disparo producido en el escenario. En cada punto de recepción (14, en total) se registró la respuesta en un DAT Sony PC204, para ser posteriormente analizada en el laboratorio con un analizador B&K-2133. Se obtuvieron resultados en bandas de 1/3 de octava para las dos configuraciones esenciales: teatral, evaluando la influencia de que las cortinas laterales estuvieran desplegadas o no, y musical. En la fig. 2 se muestran los resultados, promediados espacialmente, para todos los puntos medidos, junto con las estimaciones hechas en la fase de anteproyecto y los valores óptimos recomendados en función del uso.

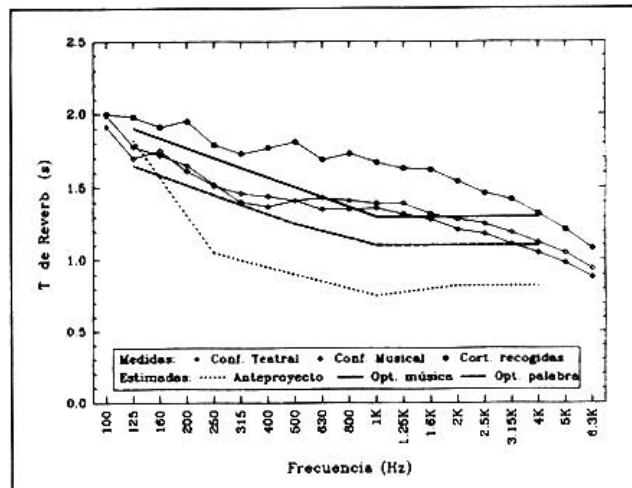


Figura 2

Dado que los límites del recinto principal quedan configurados, fundamentalmente, por el cortinaje lateral y de fondo, las estimaciones realizadas a priori, sobrevaloraron la absorción de éstas. Puesto que las medidas se hicieron con la sala vacía, se han realizado estimaciones para valorar la influencia del grado de ocupación, encontrándose que las variaciones son menores del 1%, debido a la gran relación volumen/plaza y la alta absorción producida por el área de audiencia y las cortinas verticales.

### DISTRIBUCIÓN SONORA

Se utilizó una fuente de referencia B&K-4205 con un nivel de emisión  $L_W = 99.5$  dB. En cada punto de medida, se hizo un registro de la señal en el DAT para su posterior análisis en el laboratorio mediante el analizador, con el fin de obtener el espectro de la señal correspondiente a cada punto de medida. A partir de los datos obtenidos se trazaron las curvas isonivel, que pusieron de manifiesto un comportamiento más uniforme en la configuración teatral que en la musical. Para ésta última, se observa una tendencia a conseguir niveles más elevados para la zona de audiencia que se ubica en el ábside.

Con el fin de analizar el grado de difusión de la sala, se han representado, fig. 3, los resultados medidos frente a los previstos por el modelo clásico de campo difuso, por un lado, y el de Barron y Lee<sup>[2],[3],[4]</sup>, por otro. En el primero:

$$L_p - L_0 = 10 \log (100 / r^2 + 31200T_R / V)$$

y en el segundo:

$$L_p - L_0 = 10 \log (100 / r^2 + e_r + e_l)$$

donde  $L_0$  es el nivel directo que una fuente omnidireccional produce a 10 m,  $e_r$  está relacionado con la energía reverberante inicial y  $e_l$  con la que llega más tarde.

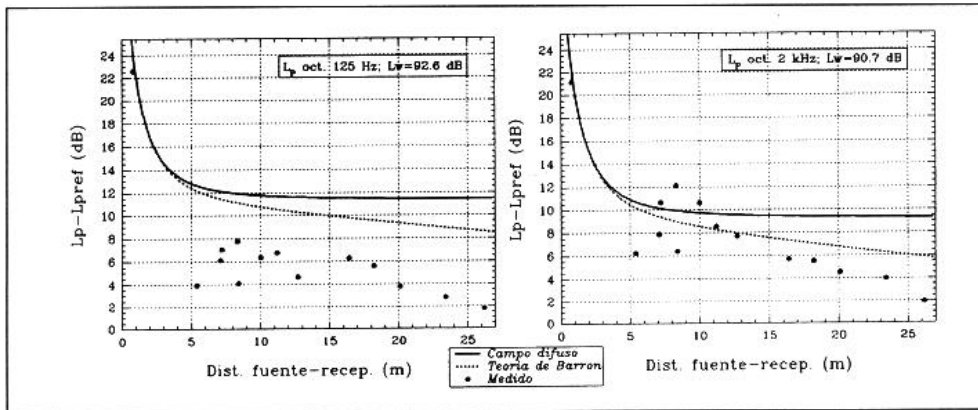


Figura 3

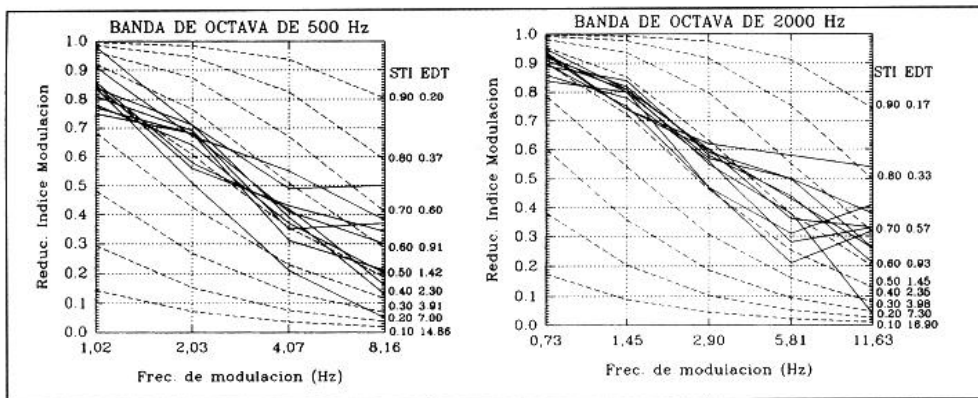


Figura 4

Para poder realizarlo en cada banda de octava, se procedió a determinar el espectro de potencia de la fuente en el laboratorio, mediante la técnica de intensimetría acústica<sup>[5]</sup>.

Observamos, fig. 3, que a bajas frecuencias, 125 Hz, ninguno de los dos modelos se ajusta al comportamiento de la sala; para frecuencias medias y altas el modelo de Barron es más adecuado para describir el campo reverberante, si bien, dada la geometría de la sala, a distancias del orden del radio acústico, los niveles pueden variar hasta 6 dB, en función de su ubicación alrededor de la fuente omnidireccional. Para distancias mayores al radio acústico, los niveles siguen la tendencia del modelo de Barron, aunque se mantienen por debajo de los previstos por él.

### INTELIGIBILIDAD

Para su valoración se utilizó el índice RASTI. Las medidas se realizaron mediante el equipo B&K-3361, conectado a un ordenador que recogía la información para su posterior tratamiento y análisis. El nivel de emisión se ajustó a Ref+10 dB, pues en este recinto, un orador tendería a forzar la voz. Las medidas se realizaron para las dos configuraciones, teatral y musical, y los resultados obtenidos permiten calificar la inteligibilidad en la sala como *normal*, con valores bastante uniformes en toda la zona de audiencia (0.52-0.59).

Para analizar las causas de degradación de la señal, se han representado las funciones de transferencia de modulación (MTF)<sup>[6]</sup>, fig. 4, para los puntos significativos medidos en cada zona, encontrándose que aparece una dispersión de estas funciones, más pronunciada en la banda de 500 Hz. En cualquier caso, y de modo general, se pone de manifiesto que la degradación de la señal se debe a la reverberación, dado el bajo nivel de ruido de fondo medido. No obstante, resulta destacable que, para las frecuencias de modulación más altas, esas degradaciones muestran tendencias que sugieren la presencia de otros factores, probablemente de reflexiones aisladas que llegan al punto de medida con un retardo significativo.

## RUIDO DE FONDO

El ruido de fondo se midió en un punto situado en el centro de la sala, a partir de la señal grabada en el DAT durante unos 10 minutos. Se hicieron medidas con el sistema de climatización funcionando y parado. Los niveles son tan bajos que podemos atribuir un índice *NR* menor de 30, aún con el equipo en marcha, lo que resulta muy adecuado para los usos previstos.

## CONCLUSION

A pesar de las dificultades de partida, se han conseguido aunar los criterios estilísticos y formales del arquitecto redactor del proyecto, con los objetivos funcionales acústicos, fruto de la estrecha colaboración mantenida. Ello ha quedado plasmado en los resultados presentados y discutidos anteriormente, que valoran las cualidades acústicas del espacio eclesial-teatral.

## REFERENCIAS

- [1] Recuero, M. y Gil, C. *Acústica Arquitectónica*. Ed. Paraninfo, 1992.
- [2] Barron, M. y Lee, L. J. *Energy Relations in Concert Auditoriums*. I. J. Acoust. Soc. Am. 84 (2), 618-628 (1988).
- [3] Sendra, J. J. y Zamarreño, T. *El campo sonoro en las iglesias gótico mudéjares con cubierta de madera: aplicación del modelo de Barron*. *TecniAcústica'95*, La Coruña. 87-90. 1995.
- [4] Arau, H. *Influencia del radio de reverberación en el establecimiento de la densidad de energía sonora estacionaria en campo difuso*. *Rev. de Acúst.*, XXVII, 1-2, 19-21, 1996. *Teoría general de las magnitudes energéticas del sonido con distribución asimétrica de absorción*. *Idem*, 27-31.
- [5] ISO-9614-1: *Determination of Sound power levels of noise sources using sound intensity- Part 1: Measurement at discrete points*, 1993.
- [6] Hougast, T. y Steeneken, H.J.M., *A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria*. *J. Acoust. Soc. Am.*, 77 (3), 1069-1077, 1985.