

## PARAMETROS ACUSTICOS MEDIDOS EN LA CATEDRAL DE SEVILLA

T. Zamarreño\*, J. Algaba\*

\*Dpto. de Física Aplicada. Insto. Univ. de Ciencias de la Construcción (E.T.S.A.). Univ. de Sevilla. Avd. Reina Mercedes, 2. 41012 - SEVILLA.

### INTRODUCCION

La Catedral de Sevilla ha sido una de las sedes del pabellón de la ciudad durante la EXPO'92. En su interior se montó una gran exposición y se ubicó un auditorio en el que se ha desarrollado un ambicioso programa de música sacra. En su momento, y en estrecha colaboración con los arquitectos encargados del proyecto, se realizaron una serie de medidas acústicas con el fin de determinar la zona más idónea para dicho auditorio y tomar decisiones respecto de su diseño y acondicionamiento.

Aquí sólo nos ocupamos de las medidas realizadas con el fin de orientar el diseño y acondicionamiento de la zona del auditorio. Las relativas al estudio de los niveles de ruido serán objeto de otra comunicación presentada en estas mismas jornadas.

### MEDIDAS DE CAMPO

#### La Catedral y su Entorno

Por sus dimensiones es una de las catedrales góticas mayores del mundo. Se encuentra situada junto a la Avda. de la Constitución, vía fundamental de acceso al centro histórico, sobre todo para el transporte público (taxis y autobuses), a la que se abren tres grandes puertas de madera. Del Archivo de Indias, al Sur, la separa una calle peatonal y a este lado se alzan la sacristía, museo y otros servicios. Al Este, tras el altar mayor, está la capilla de la Virgen de los Reyes y limita con una zona de tráfico ligero restringido (Pza. V. de los Reyes). Al Norte se abre sobre el Patio de los Naranjos, situado junto a otra calle de tráfico ligero restringido.

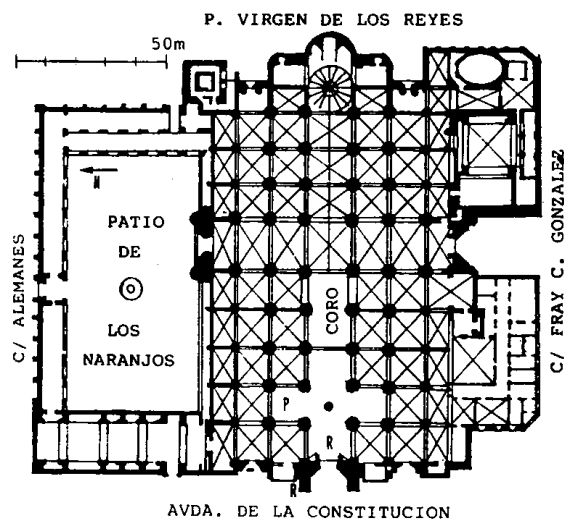


Fig. 1. Ubicación y planta de la Catedral

Es pues, la fachada Oeste la que se encuentra más expuesta al ruido y, además, la que presenta una menor protección acústica.

Su planta rectangular de 130x75 m<sup>2</sup> está dividida en cuatro naves laterales, de 11 m de anchura y 25 de altura, y una central más ancha (16 m) y alta (36 m). En los gruesos muros de mampostería se abren pequeños huecos en la parte superior cerrados por vidrieras. El suelo es de mármol.

Decidida la ubicación del auditorio en el trasero por parte de la dirección facultativa, todos los parámetros de los que nos ocuparemos se referirán a esa zona. Las medidas se realizaron durante la noche para evitar la interferencia de la actividad interior. El micrófono se situó siempre a una altura de 1.7 m del suelo.

### Ruido de Fondo

En otra comunicación<sup>(1)</sup> hemos descrito el clima de ruido en el interior y el entorno. En esta ocasión se determinó el espectro, tanto en el interior como en el exterior (puntos R), promediado durante 10 minutos. Para ello hemos utilizado un analizador en tiempo real de doble canal Brüel&Kjær 2133. Los resultados aparecen en la Fig. 2

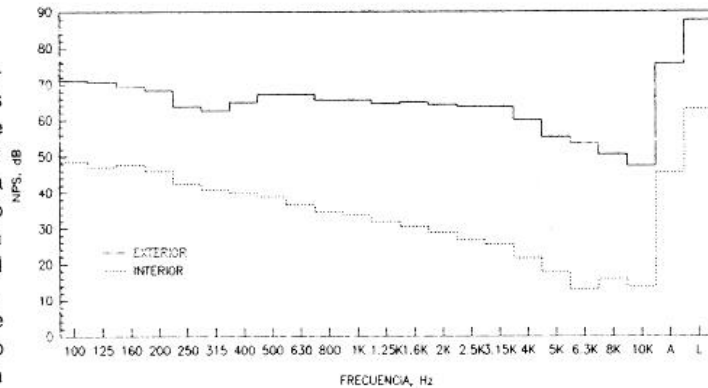


Fig. 2. Espectros de ruido de fondo exterior-trasero.

### Aislamiento Acústico

Uno de los problemas graves a resolver era la de inmisión de ruido desde el exterior sin posibilidad de intervenciones arquitectónicas significativas. Para ello se sellaron los huecos de la fachada Oeste y las aberturas de las puertas fueron tapadas con yeso y madera. Con el fin de

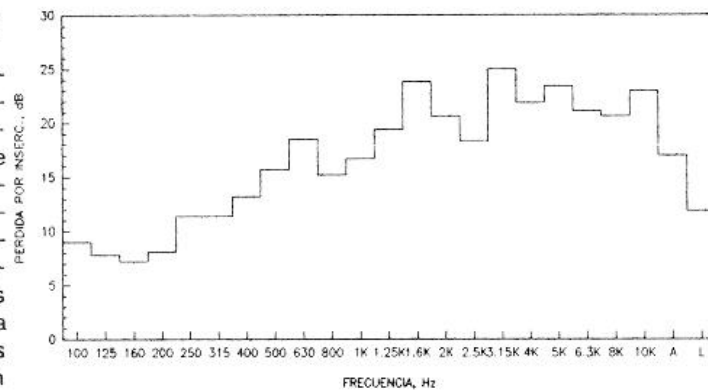


Fig. 3. Pérdida por inserción al sellar la puerta.

evaluar la eficacia de esta medida, se realizó un ensayo para determinar la pérdida por inserción. En él se emitía ruido rosa en el exterior de la puerta y se registraban, uno en cada canal del analizador, los espectros promediados espacialmente dentro y fuera en las proximidades de la misma. A partir de los resultados correspondientes a la puerta sellada y sin sellar se ha obtenido la pérdida por inserción definida como la diferencia entre los niveles medidos en el interior, para un mismo nivel en el exterior, para cada banda de 1/3 de octava. Los resultados se presentan en la Fig. 3

### Tiempos de Reverberación

Para medir el tiempo de reverberación se ha utilizado el método del impulso integrado de Schröder<sup>(2)</sup> que se lleva a cabo de forma automática mediante el citado analizador. Los impulsos eran generados en el centro de la zona de medida por un disparo. Se efectuaron medidas en 13 puntos distribuidos por el área de interés. En cada uno se promediaban, al menos, dos regis-

tros de extinción que se almacenaba en un multiespectro desde los 100 hasta los 6300 Hz en bandas de  $\frac{1}{3}$  de octava.

Integrando estos registros de extinción se han obtenido los valores de EDT (calculado sobre los 10 primeros dB de la caída) los de TR-20 y los de TR-30<sup>(3)</sup>. En la Fig. 4 se han representado los valores promediados espacialmente para cada frecuencia (curvas tonales medias). Para TR-30 se han dibujado barras verticales que representan la desviación estándar calculada sobre los valores medidos en los 13 puntos.

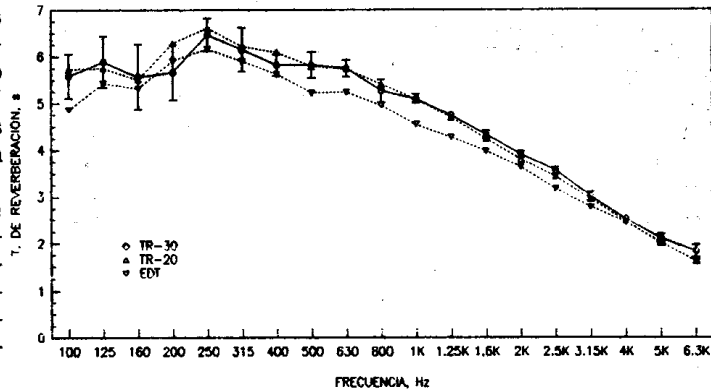


Fig. 4. Curvas tonales TR-30, TR-20 y EDT.

### Distribución Sonora

Se trata de determinar la uniformidad y magnitud del campo sonoro en la zona de interés. Para ello se registraron los espectros en bandas de  $\frac{1}{3}$  de octava en 44 puntos distribuidos en toda la región del trascoro. Los 28 primeros se utilizaron para cubrir con un mallado de 2x2 m una de las hipotéticas zonas de ubicación del público (P). El campo sonoro se generó mediante una fuente de referencia B&K 4205 que emitía ruido de banda ancha<sup>(4)</sup> (100 Hz-10 kHz) con una potencia acústica de 99 dB

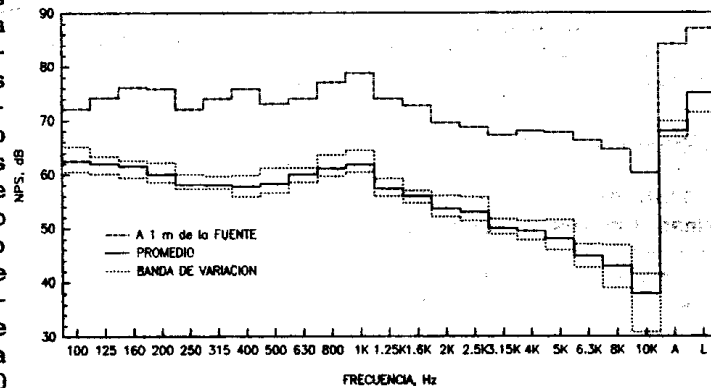


Fig. 5. Distribución sonora.

(re 1pW). Los resultados se presentan en la Fig. 5, donde aparece el espectro medido a 1 m de la fuente, el espectro medio de la zona y el intervalo de variación. Se comprobó un comportamiento análogo para las otras zonas situadas alrededor del posible estrado.

### Inteligibilidad

Tabla 2. Índice RASTI.

Fuente	8m				14m				19m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
STI-500	0.96	0.86	0.58	0.57	0.58	0.46	0.37	0.39	0.44	0.43	0.36	0.38	0.32	0.28
STI-2000	0.99	0.77	0.73	0.71	0.69	0.55	0.61	0.59	0.54	0.54	0.59	0.52	0.49	0.46
RASTI	0.98	0.72	0.66	0.65	0.64	0.51	0.51	0.50	0.49	0.49	0.49	0.46	0.42	0.38

Con el fin de completar la evaluación de las características acústicas se hicieron medidas de inteligibilidad utilizando el índice RASTI. Este índice es

una simplificación del STI (Speech Transmission Index) que tiene en cuenta los efectos de la reverberación, el ruido de fondo y el nivel de la señal y se obtiene a partir de la función de transferencia de modulación<sup>(5),(6)</sup>.

Un transmisor B&K 4225, situado en el centro de la zona, se utilizó para simular la voz humana y el receptor B&K 4419, conectado a un ordenador portátil via serie, recibe la señal en cada punto y calcula el índice RASTI. Todo el proceso, desde las condiciones de medida hasta la grabación de los datos en disco, se controla mediante un programa escrito en GW-BASIC.

En la Tabla 2 se han resumido las medidas. En ella figuran el STI en las bandas de octava de 500 y 2000 Hz, el RASTI y las distancias medias entre la fuente y los puntos de recepción.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como ya señalábamos en (1), desde el punto de vista del ruido de fondo, la ubicación en el trascoro no es la más adecuada; hubiera sido mejor la zona del acceso al Patio de los Naranjos.

A partir de la Fig. 2 los espectros, típicos de ruido de tráfico, ponen de manifiesto el débil aislamiento de la fachada Oeste, sobre todo a bajas y medias frecuencias. Por esta razón se procedió a detectar y sellar los puentes acústicos de esta fachada. Uno de los tratamientos fundamentales fue el sellado de las tres puertas mediante yeso y madera. En la Fig. 3 se aprecia la importante mejora conseguida, sobre todo, evidentemente, a medias y altas frecuencias.

Los valores del tiempo de reverberación, Fig. 4, son altos en todas las bandas de frecuencia. El TR-20 y TR-30 difieren poco, lo que pone de manifiesto el carácter exponencial de la extinción. El EDT se mantiene ligeramente inferior a los anteriores en toda la banda. Las mayores dispersiones entre los diferentes puntos aparecen, como es lógico, en las bajas frecuencias.

Dado el carácter y dimensiones del recinto, hay muy pocas posibilidades de actuación a nivel global, por lo que el diseño del auditorio tendría que pasar, necesariamente, por una reducción de este volumen.

Si observamos la Fig. 5, podemos señalar que, dada la proximidad de los puntos de recepción y emisión, el nivel percibido tiene una magnitud adecuada respecto del emitido y un comportamiento suficientemente homogéneo, como indica el intervalo de variación.

Respecto de la inteligibilidad cabe señalar que en la zona próxima a la fuente es "buena", debido a que la relación S/N es grande. En los puntos a distancia intermedia la influencia de la reverberación la degrada hasta un nivel de "normal" y en los puntos alejados es "pobre". En todos los casos se aprecia que el STI de la octava de 500 Hz es menor que el de la de 2000, que está de acuerdo con los valores relativos de los tiempos de reverberación.

## REFERENCIAS

- (1) T. Zamarreño y J. Algaba. Niveles de Ruido en la Catedral de Sevilla y su Entorno. Jornadas Nacionales de Acústica. Pamplona. Noviembre, 1992.
- (2) M. R. Schröder. New Method of Measuring Reverberation Time, J. Acoust. Soc. Amer., 37, 1965, pp. 409-12.
- (3) L. Cremer and H.A. Müller. Principles and Applications of Room Acoustics. Ed. Applied Science Publishers, 1987. London.
- (4) Instrucción Manual Sound Power Source Type 4205, Brüel&Kjær. 1978.
- (5) T. Hougast, H. J. M. Steeneken y R. Plomp. Predicting Speech Intelligibility in Rooms from the Modulation Transfer Function, I. Acustica 46, 60-72, 1980.
- (6) J. Anderson y T. Jacobsen. RASTI Measurements in St. Paul's Cathedral, London. Brüel&Kjær Application Note, 1985.