



EL PROBLEMA ACÚSTICO DE LOS GRANDES ESPACIOS CUBIERTOS DE USO DEPORTIVO

PACS: 43.55.Fw

León Rodríguez, A.L.; Sendra Salas, J.J., Navarro Casas, J., Suárez Medina, R.
Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción (I.U.C.C.). Universidad de Sevilla.
ETS de Arquitectura de Sevilla.
Av. Reina Mercedes, 2.
41012 Sevilla. España
E-mail: leonr@us.es

ABSTRACT

It is not frequent to find public or private initiatives with enough feeling and firmness as to include a concern for acoustics in their projects with regard to public indoor spaces (in general for sports facilities). In most cases it can be found, unfortunately, a very deficient acoustic performance, thus generating an uncomfortable ambience for the occupants who finally accept it as inherent in those spaces.

Within this framework the project for an indoor velodrome in Dos Hermanas (Seville, Spain) is included. Architects Félix Escrig and José Sánchez, authors of the project, proposed us a initiative as introduced in this text: to include an acoustic analysys of the project, as well as the implementation of correcting measures. The most significant aspects of the acoustic study are presented here.

RESUMEN

No resulta frecuente encontrar iniciativas, públicas o privadas, con la suficiente sensibilidad y firmeza como para incluir en sus proyectos de espacios públicos cubiertos, en general de uso deportivo, la preocupación por su acústica. En la mayoría de estos espacios encontramos, desgraciadamente, un comportamiento acústico muy deficiente que produce una desagradable atmósfera para sus ocupantes, que terminan por aceptarla como parte inherente de dichos espacios.

En este marco se inscribe el proyecto para el Velódromo Municipal de Dos Hermanas. Sus autores, los arquitectos Félix Escrig y José Sánchez, nos plantearon una iniciativa del tipo citado en las primeras líneas de este texto: incluir el estudio acústico de dicho proyecto, así como la adopción de medidas correctoras. Presentamos aquí los aspectos más relevantes de dicho estudio.

1. INTRODUCCIÓN

Los grandes espacios cubiertos requieren grandes volúmenes y la utilización de materiales de gran dureza superficial, debido al uso preferentemente deportivo y a la concentración de público. Justamente esas dos características: gran volumen y materiales poco absorbentes, tienen como consecuencia un gran tiempo de reverberación y escasa inteligibilidad; es decir, una pésima conducta acústica. Una actitud previsor que procure disminuir el número de metros cúbicos por espectador, siempre que sea compatible con la actividad deportiva, y el uso de soluciones constructivas que

aumenten la absorción sonora y la difusividad puede producir importantes beneficios en la conducta acústica de estos espacios.

Debe advertirse, sin embargo, que esta mejora resulta generalmente insuficiente si se pretende conseguir unas condiciones acústicas propias de otro tipo de espacios, como pueden ser las de un auditorio. Esta idea resulta clave, ya que no es difícil encontrar promotores que aspiran a compatibilizar espacios cuyo uso principal es el deportivo con otros usos, principalmente el musical, en la creencia de que esto es posible mediante intervenciones u operaciones de poco calado. Ello no resulta así en absoluto. Se pueden esperar conductas acústicas idóneas para el uso deportivo e incluso llegar a condiciones que, si no totalmente adecuadas, permiten al menos algún tipo de eventos musicales mediante sonorizaciones especiales. Y esto siempre con una inversión considerable, si se compara con los costes actuales de las soluciones convencionales para estos edificios.

La inclusión del problema acústico en el diseño de grandes espacios cubiertos de uso deportivo lo vamos a ejemplificar en el acondicionamiento acústico que nuestro equipo ha realizado en el Velódromo Municipal de Dos Hermanas (Sevilla).

2. PLANTEAMIENTO DEL ANÁLISIS

por L. Cremer Para realizar el estudio del comportamiento acústico del velódromo, se ha modelizado el espacio deportivo con el programa informático de simulación *CATT-Acoustic* y utilizando la planimetría facilitada por los arquitectos redactores del proyecto (Figura 1).

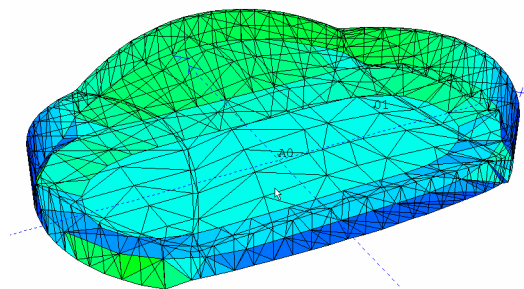


FIGURA 1. Modelo informático de simulación

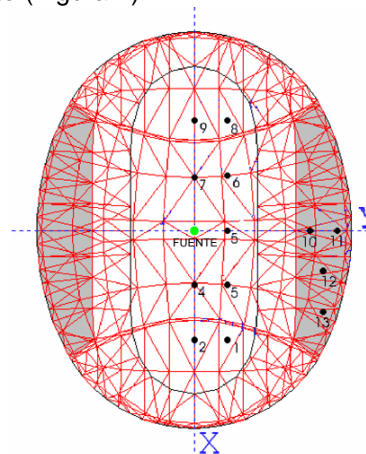


FIGURA 2. Puntos estudiados

El análisis acústico se ha centrado en los siguientes apartados:

1. Reverberación
2. Distribución sonora
3. Inteligibilidad
4. Ruido de fondo

3. RESUMEN DE LOS ANÁLISIS CON EL MODELO INFORMÁTICO

Tiempo de reverberación

El tiempo de reverberación, fijado el volumen, depende del tipo y forma de colocación de los acabados de las superficies que cierran el espacio. Por ello, se ha determinado en primer lugar el tiempo de reverberación considerando un material de cubierta usual en este tipo de espacios, que da lugar a una deficiente conducta acústica. En siguiente lugar, se han estudiado diferentes soluciones de revestimientos y acabados absorbentes para esa cubierta.

Las cuatro hipótesis de revestimiento analizadas en este estudio han sido las siguientes:

1. Revestimiento usual de cubierta de espacios deportivos. Chapa metálica sin perforar.
2. Sustitución de la superficie de cubierta por chapa metálica perforada.

3. Revestimientos de la hipótesis 2, añadiendo lonas tensadas en los paños entre los tubos estructurales de la cubierta.
4. Revestimientos de la hipótesis 2, añadiendo paneles de lana de roca en los mismos puntos del caso anterior.

En las figuras 3 y 4 se representan los tiempos de reverberación previstos para cada una de las hipótesis de revestimientos adoptadas, aplicando la fórmula de Sabine, es decir T_{60} (tiempo de reverberación para una caída de 60 dB). Se ha incluido, a efectos de comparación, la curva tonal óptima (tiempos de reverberación óptimos a las distintas frecuencias) que correspondería a un auditorio (uso musical) de volumen similar, según los valores proporcionados por L. Cremerⁱⁱ.

Volumen recinto 232226 m³; Sup. Revest.: Hipotesis 1 y 2 (33126 m²) Hipótesis 3 y 4 (36231 m²).

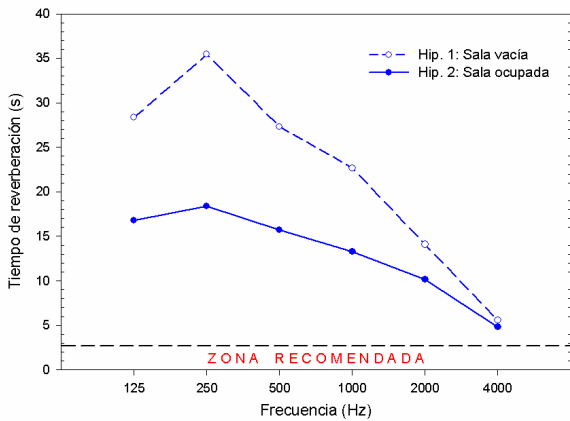


FIGURA 3. T. reverberación (T_{60}).HIP. 1

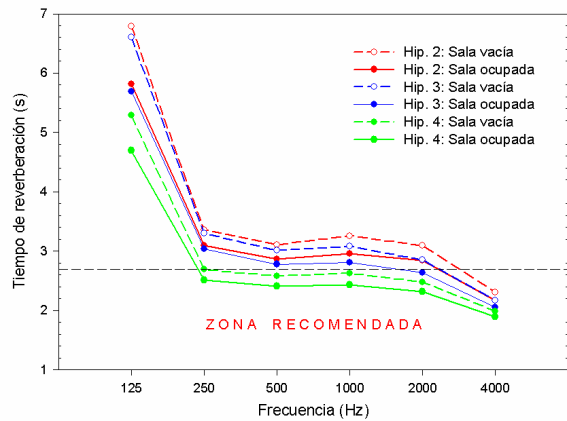


FIGURA 4. T. reverberación (T_{60}). HIP. 2, 3 y 4

3. 2. Distribución sonora

Para el análisis de la distribución sonora se ha realizado un estudio teórico de acústica geométrica, utilizando el programa informático mencionado anteriormente, con el objeto de evaluar, además, la naturaleza y participación del sonido reflejado en el campo sonoro. Así pues, se ha analizado la incidencia de los rayos sonoros directos y reflejados (hasta una quinta reflexión) en distintos puntos representativos de la sala. La fuente sonora se ha ubicado en el centro del recinto, a una altura de 1.60m sobre el nivel de la pista. Algunos de los resultados de este estudio de Acústica Geométrica se presentan para en las figuras 5 y 6.

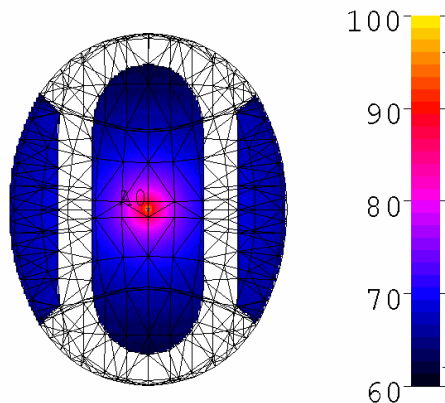


FIGURA 5. Mapa de distribución sonora. HIP. 1

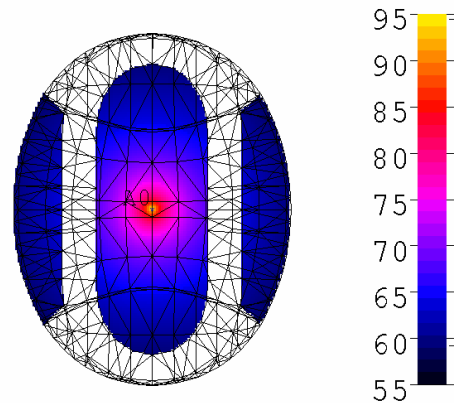


FIGURA 6. Mapa de distribución sonora. HIP. 4

3.3. Inteligibilidad

Para el estudio de la inteligibilidad se ha utilizado el índice RASTI (*Rapid STI*)ⁱⁱⁱ, obtenidas a través del mencionado programa informático CATT-Acoustics. Este indicador valora la calidad del canal de

transmisión (recinto), analizando las diferencias entre la envolvente de la señal emitida y la recibida, producidas por ese canal de transmisión. En la **Tabla I** se presentan los valores simulados del índices RASTI en cada una de las hipótesis, así como la valoración que se hace de los mismos.

TABLA I. INTELIGIBILIDAD (RASTI)

Punto	HIPÓTESIS							
	1		2		3		4	
	Valor	Cualificación	Valor	Cualificación	Valor	Cualificación	Valor	Cualificación
1	0.19	Pobre	0.55	Débil	0.55	Débil	0.59	Débil
2	0.31	Pobre	0.49	Débil	0.49	Débil	0.50	Débil
3	0.39	Pobre	0.67	Buena	0.69	Buena	0.71	Buena
4	0.39	Pobre	0.75	Buena	0.72	Buena	0.77	Excelen.
5	0.47	Débil	0.71	Buena	0.69	Buena	0.71	Buena
6	0.36	Pobre	0.69	Buena	0.68	Buena	0.70	Buena
7	0.39	Pobre	0.73	Buena	0.72	Buena	0.78	Excelen.
8	0.21	Mala	0.52	Débil	0.55	Débil	0.54	Débil
9	0.32	Pobre	0.50	Débil	0.50	Débil	0.53	Débil
10	0.36	Pobre	0.58	Débil	0.64	Buena	0.66	Buena
11	0.30	Pobre	0.55	Débil	0.55	Débil	0.56	Débil
12	0.28	Mala	0.55	Débil	0.59	Débil	0.60	Buena
13	0.30	Pobre	0.54	Débil	0.54	Débil	0.55	Débil

4. PRINCIPALES CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES REALIZADAS

A la vista de estos resultados del análisis acústico presentado anteriormente, se han efectuado recomendaciones constructivas que, con carácter general, han sido incluidas en el proyecto final. Las principales recomendaciones han sido las siguientes:

4.1. Tiempo de reverberación

La curva tonal inicial (figura 3), y su comparación con lo que sería la curva tonal óptima, evidencia la imperiosa necesidad de incluir algún absorbente sonoro en los revestimientos y acabados del velódromo, dados los muy elevados tiempos de reverberación que podrían obtenerse, a todas las frecuencias, incluso con el recinto lleno de público. El uso de la chapa perforada (hipótesis 2) resulta ser de la máxima eficacia, fundamentalmente debido a la gran superficie tratada (la totalidad de la cubierta), situando los tiempos de reverberación en un intervalo de valores verdaderamente aceptable para un uso deportivo. Las hipótesis de incorporación de lonas tensadas (hipótesis 3) o paneles de lana de roca, como emulación de un tratamiento con baffles (hipótesis 4), suponen mejoras apreciables respecto de la hipótesis 2, siempre en combinación con ésta.

Mención especial merece el valor alto del tiempo de reverberación calculado a 125 Hz en estas tres últimas hipótesis. Ese valor es consecuencia principalmente del coeficiente de absorción estimado para la chapa perforada que reviste la superficie interior de la cubierta. No obstante, los valores obtenidos a graves por medio de la simulación informática para las variables T_{15} y T_{30} son claramente inferiores, más próximos a los valores óptimos. Así pues, consideramos que los valores de los tiempos de reverberación a los sonidos graves serán menores que los reflejados en la gráfica 4, obtenidos mediante la fórmula de Sabine.

A la vista de este comportamiento, y dada la repercusión de una desviación de los coeficientes de absorción en los resultados finales, estimamos que era necesario realizar el ensayo de absorción específico de la chapa metálica perforada recomendada en un laboratorio homologado. Ello permitiría conocer el comportamiento real del material e incluso la comprobación con diversos tamaños y densidades de perforaciones. En esta línea, se llevaron a cabo dos ensayos de absorción acústica sobre dos muestras de chapa de cubierta perforadas, de dimensiones 3.0 x 3.5 m:

Ensayo 1: Chapa de acero de 1mm de espesor, perforada al 30% con orificios circulares de 3

mm de diámetro, cámara de aire de espesor variable y manta de lana de vidrio de 80mm de espesor.

Ensayo 2

Chapa de acero de 0.6mm de espesor, perforada al 20% con orificios circulares de 5 mm de diámetro, cámara de aire de espesor variable y manta de lana de vidrio de 80mm de espesor.

Los coeficientes de absorción medidos no presentaron grandes diferencias con los estimados en un principio. Éstos, en bandas de octava, se muestran en la tabla siguiente:

PANELES DE CUBIERTA ENSAYADOS	COEFICIENTES DE ABSORCIÓN EN BANDAS DE OCTAVA DE FRECUENCIA					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz
CHAPA PERFORADA DE 1mm DE ESPESOR Y PERFORACIONES DE	0.45	0.83	0.81	0.88	0.91	0.97
CHAPA PERFORADA DE 0.6mm DE ESPESOR Y PERFORACIONES DE	0.44	0.89	0.81	0.89	0.93	0.94

La ejecución de dichos ensayos, así como la emisión del informe correspondiente, fue realizado en el Área de Acústica del Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación del Gobierno Vasco (LABEIN).

4.2. Distribución sonora

En las figuras 5 y 6, donde se presentan los niveles globales (dBA) de distribución sonora del recinto, se observa un campo sonoro sensiblemente uniforme, propio de un campo reverberado. No obstante, el análisis del campo sonoro a distintos intervalos de tiempos, muestra una deficiente distribución sonora, común en estos grandes espacios resueltos con geometrías curvas, que provocan concentraciones sonoras y regiones deficientemente barridas. Igualmente, el hecho de que existan grandes distancias recorridas por el sonido después de algunas reflexiones, puede alertarnos de la presencia de ecos y reflexiones no deseadas.

La utilización de grandes absorbentes como la chapa perforada propuesta y la presencia de elementos como las telas tensadas y los paneles de lana de roca, pueden suponer una importante mejora de las deficiencias iniciales anteriormente descritas, si bien, difícilmente se podrán atenuar en su totalidad.

4.3. Inteligibilidad

El indicador de inteligibilidad resulta de interés para la valoración acústica de salas donde el uso de la palabra resulta esencial, como teatros, salas de conferencias, etc. Para el uso deportivo de este recinto necesariamente ha de contemplarse la presencia de una instalación de megafonía, que requerirá de valores al menos aceptables de la inteligibilidad.

Como puede observarse en la tabla I, la mejora de la inteligibilidad en todos los puntos para las hipótesis 2, 3 y 4 (especialmente en esta última), respecto de la primera, resulta apreciable.

4.4. Ruido de fondo

El ruido de fondo en un espacio deportivo es, normalmente, muy alto. Por ello, es recomendable que en espacios cerrados se reduzcan los tiempos de reverberación para evitar la amplificación de dicho ruido. En este sentido, las medidas propuestas deben redundar en una mejora de los niveles de ruido de fondo.

Otra importante fuente de ruido de fondo lo constituye el posible ruido de impacto de la lluvia sobre la chapa exterior de la cubierta. Por ello, En este caso, se recomendó que dicho elemento incluyera material absorbente y amortiguador (fibra de vidrio o lana de roca), y que su sistema de sujeción impidiera la transmisión de ruido de impacto mediante tornillería aplicada desde la chapa a la estructura interponiendo una material elástico.

Para la valoración del ruido de fondo en este tipo de recintos puede tomarse el valor de referencia correspondiente a la curva NR 40^{iv}.

ⁱ **CATT-Acoustic v 7.2. (1999).** Room acoustics prediction and desktop auralization. CATT, Gothenburg (Suecia).

ⁱⁱ **Cremer, L., Müller, H.A. y Schultz, T.J. (1982).** *Principles and applications of room acoustics.* Volumen 1. Londres: Applied Science Publishers. p. 610-627.

ⁱⁱⁱ **Hougast, T. y Steeneken, H. J. M. (1985).** A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 77 (3), p.p. 1069-1077.

^{iv} Norma ISO R 1996