

EL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO EN EL PROYECTO DE UN ESPACIO DEPORTIVO CUBIERTO

PACS: 43.55 Fw

T. Zamarreño; J. J. Sendra; R. Alario; P. Alonso
Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. ETS Arquitectura. Univ. de Sevilla
Avd. Reina Mercedes, 2
41012 Sevilla. España
Tel: +34 95 455 66 12
Fax: +34 95 455 78 92
E-Mail: teofilo@us.es

ABSTRACT

Frequently the sport installations are used for other cultural or social activities that demand special acoustics requirements. In the other hand, the acoustic comfort for both, sportsmen and spectators, require taken into account the acoustics behavior of these spaces. The objective of this work is to present the process of design of a sport pavilion and the results attained. These results are valuated by means of "in situ" measurement before the pavilion is achieved.

RESUMEN

A menudo las instalaciones deportivas se utilizan para actividades culturales o sociales que requieren exigencias acústicas más determinadas. Además el confort acústico durante las competiciones deportivas, tanto para los deportistas como para los espectadores, muchas veces es obviado en el proceso de diseño y acondicionamiento de este tipo de espacios. El objetivo de este trabajo es presentar las condiciones acústicas obtenidas en un pabellón polideportivo recientemente inaugurado, el de Puente Genil (Córdoba), fruto de la colaboración con el arquitecto autor del proyecto y dirección de las obras R. Alario. Estos resultados se han evaluado mediante una medida realiza in situ una vez ejecutada la obra.

1. INTRODUCCIÓN

Normalmente los aspectos acústicos no suelen ser prioritarios en el proceso de diseño de espacios deportivos. De hecho, es bastante frecuente encontrarse con enormes dificultades de carácter acústico cuando, una vez finalizadas las obras, se pretende la instalación de algún sistema electroacústico. Es más, con frecuencia este tipo de recintos acogen actividades culturales o sociales, para las que no fueron concebidos, y que requieren un comportamiento acústico mucho más exigente [1]. El caso que nos ocupa es una excepción que esperamos sienta precedentes. En esta ocasión, el arquitecto R. Alario propone al grupo de acústica del IUCC colaborar con él desde los primeros pasos de la redacción del proyecto de un pabellón polideportivo cubierto, del tipo denominado "sala de barrio", para incorporar al proceso de diseño el acondicionamiento acústico que, junto al acondicionamiento térmico y visual, constituyen objetivos importantes del mismo, a fin de lograr un espacio confortable (figura 1).

2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Una vez establecida la colaboración entre el arquitecto y este grupo de investigación en acústica del IUCC, se redactó un estudio acústico del pabellón polideportivo que formó parte de la documentación del proyecto. Como conclusión del mismo, se adoptaron las siguientes decisiones:

- Búsqueda de una sección del espacio interior que disminuyese en lo posible la relación volumen/aforo (figuras 1 y 2).
- Reducción acusada de la altura de las paredes laterales reflectoras, productoras en muchos casos de reflexiones tardías, claramente inconvenientes.
- Adopción de materiales de revestimientos acordes con los objetivos del acondicionamiento acústico, en especial que produzcan un buen ajuste de los tiempos de reverberación del espacio deportivo a los óptimos en función de los usos contemplados. En este sentido, se busca un plano absorbente, que se ubica en el techo, configurado mediante paneles con absorción significativa a bajas y medias frecuencias, compuestos por fibras de madera aglomeradas con magnesita (panel Herakustik F25), colocados además de modo que no llegaran totalmente hasta las cerchas de madera, y dejan unas aberturas en la proximidades de las mismas que comunican el volumen de la cámara de cubierta con el espacio interior deportivo (Fig. 1). La mayor parte de la superficie de las paredes laterales se revisten con paneles de cartón yeso colocados sobre perfilaría, en las zonas no accesible, y panel de fibras aglomeradas con resinas en la zona baja accesible, aumentando la absorción a bajas frecuencias. En la tabla I se muestran los principales materiales de revestimiento utilizados, así como su superficie y los coeficientes de absorción estimados.
- No alteración del efecto difusor que pueden ejercer las cerchas de madera que sustentan el material de cobertura y las correas que dan apoyo, a su vez, a estos paneles absorbentes de cubierta.



Fig. 1.- Vista interior del pabellón ter-

En ese estudio, en virtud del volumen fijado en el proyecto (12978 m^3) y de los posibles usos que se pretende dar al recinto, los valores del tiempo de reverberación se situaron en el entorno de la banda óptima representada en la figura 4(a).

Tabla I.- Principales materiales utilizados en las terminaciones interiores							
Material	Superficie (m ²)	Coeficientes de absorción					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Panel Herakustik F25	1650	0.25	0.30	0.60	0.85	0.85	0.72
Suelo sintético deportivo	1179	0.04	0.04	0.08	0.09	0.08	0.09
Hormigón/marmol	340	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
Placa de yeso	324	0.29	0.15	0.06	0.05	0.07	0.08
Vidrio	72	0.20	0.10	0.06	0.04	0.03	0.02
Policarbonato	166	0.70	0.70	0.70	0.45	0.30	0.20
Panel de fibras aglomeradas con resina	268	0.50	0.48	0.45	0.45	0.40	0.40
Panel perforado	84	0.30	0.35	0.60	0.45	0.35	0.30

3. RESULTADOS

Para evaluar los resultados alcanzados, se ha realizado una medición exhaustiva de los parámetros acústicos más significativos. Las medidas se han realizado con el pabellón completamente vacío. Se han utilizado dos posiciones de fuente y 12 receptores distribuidos entre la zona de la audiencia en eventos deportivos y la pista. En la elección de las posiciones de la fuente se han considerado dos posibles configuraciones en caso de su utilización para actividades culturales: una transversal, con la escena en la posición de A0 y otra longitudinal con la escena en A1 (figura 2).

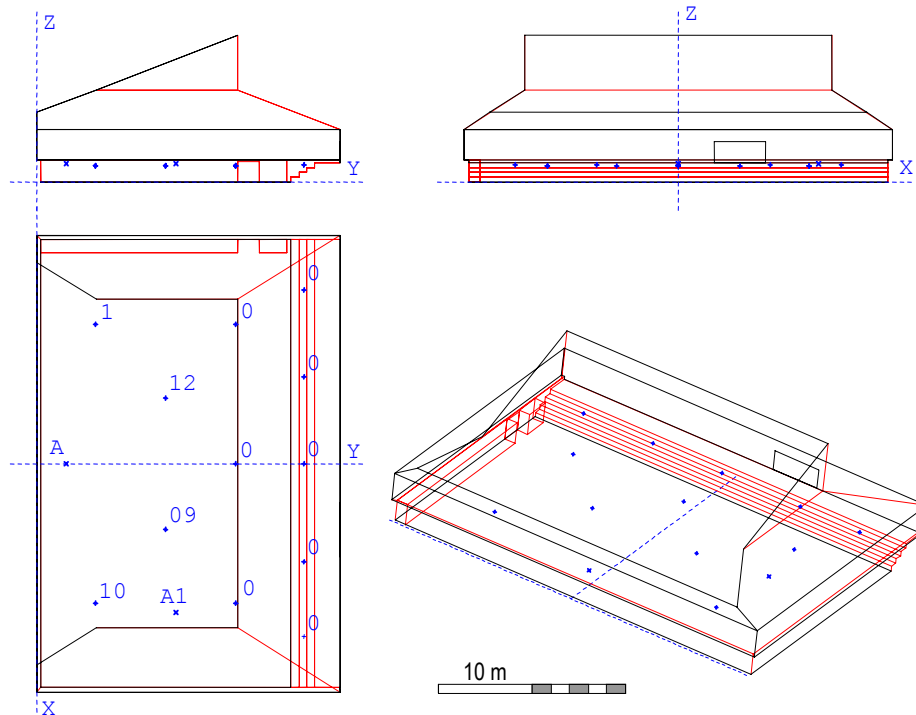


Fig. 2.- Secciones, planta y vista 3D del pabellón. Se indican las posiciones de las fuentes (A0 y A1) y de los puntos de medida (numerados del 1 al 12).

Las medidas se han llevado a cabo mediante el sistema MLSSA de DRA Laboratories [2], que está basado en una tarjeta específica alojada en una ranura de un ordenador personal. Para obtener la respuesta al impulso en cada posición, se han utilizado señales de secuencias de máxima longitud (MLS) emitidas al recinto mediante la fuente omnidireccional Brüel&Kjaer 4296. La señal era captada, en cada punto, por un micrófono omnidireccional Brüel&Kjaer 4165, conectado a través del preamplificador B&K-2669 a la entrada de la tarjeta de MLSSA. Con el fin de mejorar la relación señal/ruido, sin comprometer en exceso el tiempo de medida, en cada punto se promediaron 16 periodos MLS y se ajustó el nivel de emisión todo lo alto que fue posible sin saturar ninguno de los componentes de la cadena de medida. La figura 3 muestra una respuesta al impulso típica. En ésta, y en las demás registradas, se observa con frecuencia la presencia de reflexiones discretas irregularmente repartidas durante el intervalo de registro. Lógicamente, las necesidades de disponer de un espacio interior diáfano de grandes dimensiones (obsérvese que la planta tiene unas dimensiones del orden de 30×40 m y una altura media de 10 m) impide disponer superficies auxiliares que ayuden a regularizar de forma más uniforme la extinción. De momento tampoco se ha planteado ningún tipo de reflector en las inmediaciones de la posible escena.

Las condiciones atmosféricas se monitorizaron durante la realización de las medias y se observó que se mantuvieron alrededor de los 24°C y 55% de humedad relativa.

En todos los puntos, y para todas las frecuencias, la caída efectiva es mayor que 35 dB, con un valor medio del orden de los 43 dB. Por ello, al valorar los tiempos de reverberación se ha optado por T20, si bien los valores de T20 y T30 son muy similares en los casos en que ambos se pueden evaluar con fiabilidad. En la figura 4 se muestran los resultados de la medida del tiempo de reverberación, promediados espacialmente, para cada posición de la fuente con indicación de la dispersión espacial mediante la desviación estándar. En la fig. 4(a) se observa que T20 es considerablemente independiente, tanto de la posición de

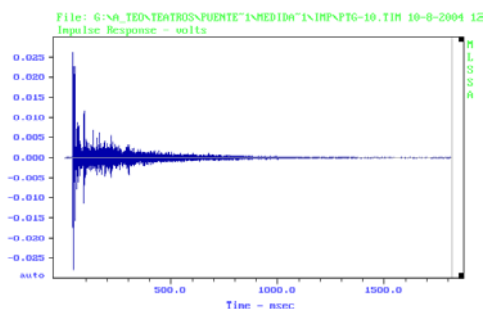


Fig. 3.- Respuesta al impulso registrada en la posición 10 con la fuente en la posición A0.

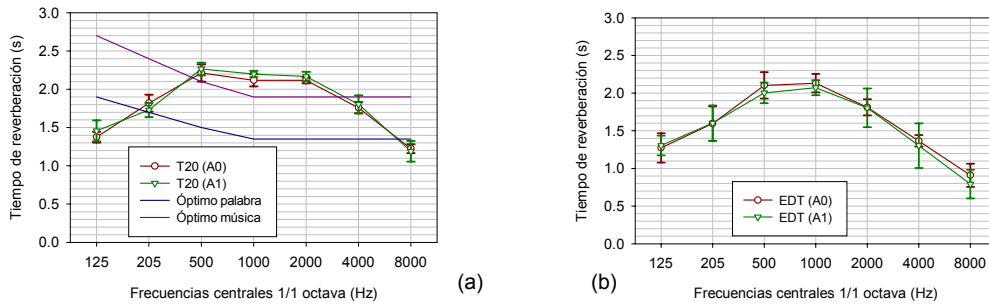


Fig. 4.- Tiempos de reverberación T20 (a) y EDT (b), promediados espacialmente, para cada una de las posiciones de la fuente. Las barras verticales valoran la dispersión espacial del parámetro mediante la desviación estándar

la fuente como de la posición del micrófono. La dispersión espacial del parámetro es pequeña; de hecho la desviación estándar, para todas las frecuencias, es del orden de 0.1 s. En el caso del EDT, si bien la independencia de la fuente es similar al caso de T30, la dispersión espacial es mayor, como ponen de manifiesto las barras verticales en la figura 4(b).

Se ha de destacar que las medidas se han hecho con el recinto vacío, de modo que la presencia del público en cualquiera de las configuraciones va a favorecer que los tiempos de reverberación se sitúen en el rango recomendado y mostrado en la figura 4(a). Los menores valores a bajas frecuencias, respecto de lo comúnmente aceptado, está justificado en este caso porque en el uso deportivo se pretende atenuar en lo posible los ruidos de bajas frecuencias. Este efecto tiene que ver con la existencia de espacios acoplados mecánicamente que actúan como resonadores, como el volumen que queda detrás de las placas del techo, el armario corrido que hay en la parte inferior de la pared lateral situada a la derecha de la grada o las cámaras situadas tras los paneles de las terminaciones de los cerramientos.

En la figura 5 se muestra el comportamiento espectral de parámetros que relacionan energía inicial y tardía (o total). También se valora la incidencia de la fuente, presentando un espectro promedio para cada posición de la misma, y la dispersión espacial, mediante la desviación estándar en las barras de error. Se observa que los parámetros relacionados con el uso de la palabra (claridad, C50 y definición, D50) presentan un comportamiento espectral muy parecido y una dispersión espacial análoga en ambos casos. Esto era de esperar si tenemos en cuenta que estos dos parámetros están relacionados. De hecho, la propia norma UNE-EN-ISO 3382 [3] (que hemos seguido en lo posible al realizar las medidas) recoge esta relación:

$$C50 = 10 \log \left(\frac{D50}{1 - D50} \right)$$

Igualmente, podemos observar cómo los promedios espaciales de ambos parámetros presentan una dependencia respecto de la posición de la fuente muy similar, significativamente mayor que para el caso de la claridad musical C80.

El cálculo de la fuerza acústica G en MLSSA resulta demasiado tedioso, sobre todo si se pretende conocer los valores espectrales, pues el procedimiento obliga a determinar manualmente, para cada medida, el instante de separación entre sonido directo y reverberado. A partir del sonido directo se evalúa el valor de referencia (nivel a 10 m en condiciones de campo libre). Más eficiente resulta el cálculo con WinMLS, recientemente adquirido, ya que permite automatizar el proceso. Puesto que nos resulta del máximo interés evaluar la compatibilidad de

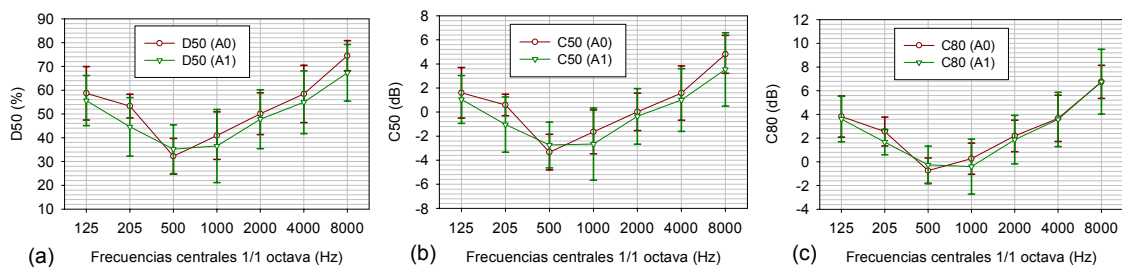


Fig. 5.- Comportamiento espectral de parámetros energéticos y valoración de la distribución espacial.

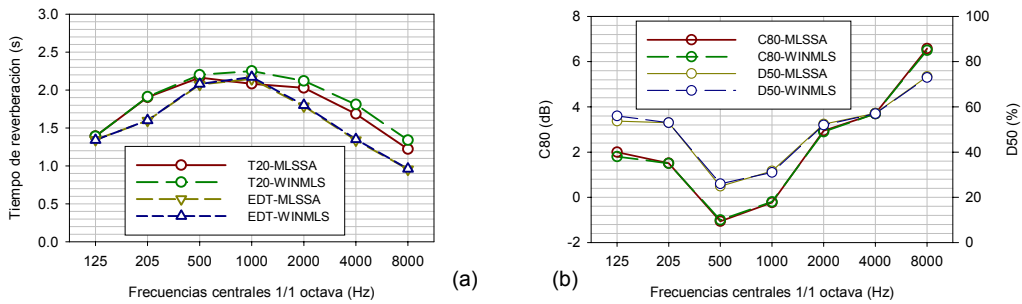


Fig. 6.- Comparación de los valores obtenidos con MLSSA y WinMLS en el punto 6.

los resultados obtenidos con ambos sistemas, hemos procesado todas las respuestas adquiridas con MLSSA mediante WinMLS aprovechando su facilidad de importación de formatos, entre otros el del MLSSA.

La figura 6 muestra resultados parciales de esta comparación para el receptor 6. En base a ellos, hemos utilizado WinMLS para calcular los valores de G . En la figura 7(a) se muestra su comportamiento espectral, promediado espacialmente, para cada una de las posiciones de la fuente, donde hemos valorado la dispersión espacial mediante la desviación estándar del conjunto de medidas. No se han incluido aquellos puntos más próximos a las posiciones de la fuente, en los que predomina el campo directo (en concreto aquellos situados a una distancia inferior a dos veces el radio acústico, estimado en 5 m). Se observa que, en general, la dispersión es mayor (y los valores promedio algo menores) cuando la fuente se ubica en la posición A1. En la fig. 7(b) se ha representado el comportamiento de G frente a la distancia emisor-receptor, distinguiendo los datos correspondientes a cada una de las posiciones de la fuente. Se observa que la atenuación con la distancia tiende a ser un poco mayor que la prevista por el modelo de Barron [4] para auditorios. Aunque la geometría del espacio es bastante diferente de la de un auditorio, tienen algo en común respecto de la distribución de la absorción: si en un auditorio el plano de audiencia es el más absorbente, en este caso, sobre todo cuando se usa como espacio deportivo, que es la configuración en la que se han realizado las medidas, el plano de máxima absorción resulta ser el techo, como ya hemos indicado.

A partir de las respuestas al impulso, hemos obtenido los índices de inteligibilidad RASTI. Los espectros de emisión no están adaptados ni los niveles calibrados, como ya hemos indicado, por lo que los resultados no incluyen la influencia del ruido de fondo sobre este parámetro [5]. Puesto que casi todos los puntos están situados frente a la fuente dentro de un ángulo de 120° , la incidencia de la directividad en la emisión no es significativa [6]. La figura 8(a) muestra los resultados, para las dos posiciones de la fuente en cada uno de los puntos y la figura 8(b) la variación del RASTI con la distancia emisor-receptor para cada posición del emisor. Observamos que la distribución de valores es bastante uniforme y éstos nos permiten cualificar la inteligibilidad de la palabra en el interior del recinto entre “aceptable” y “buena”.

Con el fin de valorar los niveles del ruido de fondo presentes en el interior del recinto, se midió el espectro en el punto 9, promediado durante unos 5 minutos, con el sistema de ven

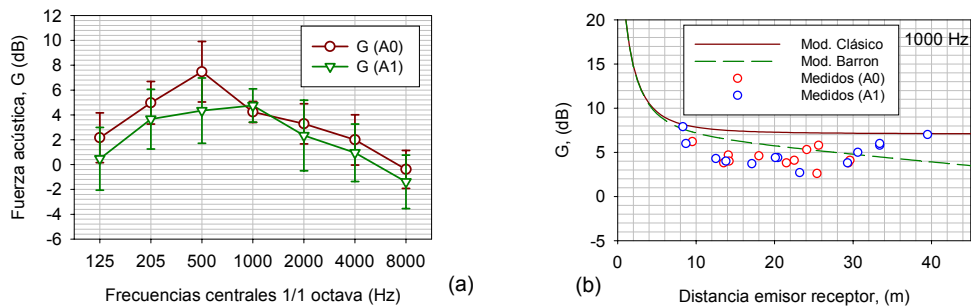


Fig. 7.- (a) Valores espectrales de G , promediados espacialmente, y valoración de su dispersión. (b) Variación de G con la distancia emisor-receptor para la banda de octava de 1000 Hz comparado con modelos teóricos.

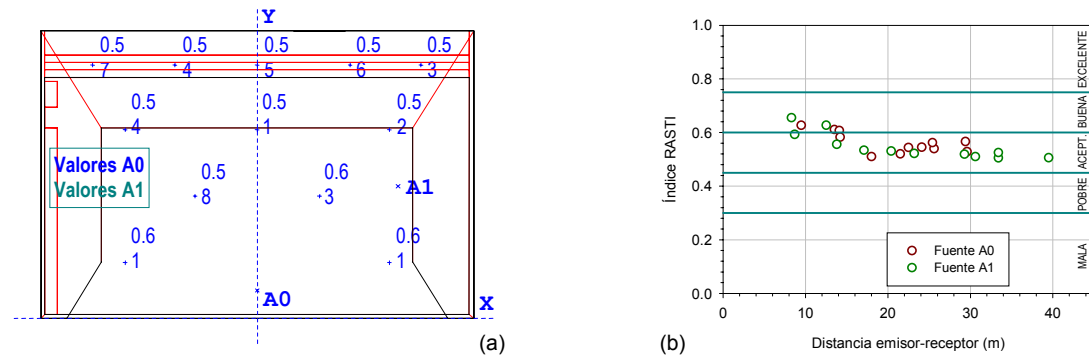


Fig. 8.- Valores RASTI para ambas posiciones de la fuente (a) y variación del RASTI con la distancia emisor-receptor (b).

tilación forzada funcionando. Este espectro se puede describir con el índice NR=45, si bien el contenido en bajas frecuencias es notablemente bajo. Para uso deportivo estos niveles son aceptables, aunque para otros usos culturales resultan algo elevados.

4. CONCLUSIONES

Se ha presentado el proceso de diseño acústico, en estrecha colaboración con el arquitecto redactor del proyecto, de un polideportivo. Así mismo se han evaluado los resultados, una vez ejecutado, realizando medidas in situ.

La metodología de trabajo ha permitido incluir las exigencias acústicas en el proceso de diseño de este tipo de espacios, a los que normalmente no se presta este tipo de atención a pesar de que luego son utilizados para actividades culturales en los que la palabra y la música juegan un papel primordial.

Los resultados de las medias han permitido caracterizar el espacio y justificar la propuesta planteada en el proceso de diseño.

Las respuestas al impulso, obtenidas con MLSSA, han sido analizadas tanto con MLSSA como con WinMLS, quedando patente la congruencia de los resultados de ambos análisis lo que resulta útil a la hora de comparar medidas analizadas con diferentes sistemas.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Arana, M.; Vela, A. Medidas de parámetros acústicos del polideportivo de la universidad de Navarra. Modelización y ajuste con los resultados experimentales. Jornadas Nacionales de Acústica, Tecniacústica 94. Valencia. Noviembre, 1994.
- [2] MLSSA, Maximun-Length Sequence System Analyzer, Reference Manual, version 10W. DRA laboratories.
- [3] Norma UNE-EN-ISO 3382:1997: "Medida del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos" (versión española de 2001).
- [4] Barron M., Lee L. J. Energy relations in concert auditorium. I. The Journal of the Acoustical Society of America, 84 (2), pp. 618-628, 1998.
- [5] Rife D. D. Modulation transfer measurement with maximum length sequences. Journal of the Audio Engineering Society, 40(10), pp. 779-790, 1992.
- [6] Galindo M.; Zamarreño T.; Girón S. Comparative study of various techniques to measure Speech intelligibility. Número especial de la Revista de Acústica, Vol. XXXIII (CD-Rom), Forum Acusticum Sevilla 2002. ISBN 84-87985-07-6.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca parcialmente dentro del Proyecto de Investigación coordinado BIA2003-09306-C04 de Plan Nacional de I+D+i, financiado por el ministerio de Educación y Ciencia y los fondos FEDER.