

## ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO Y SONORIZACIÓN DE UN PABELLÓN POLIDEPORTIVO

PACS: 43.55.Ka

Cristina Miquel; Teófilo Zamarreño; Sara Girón.  
Universidad de Sevilla, Dpto. Física Aplicada II, ETS Arquitectura, IUACC.  
Avda. Reina Mercedes 2, 41012 Sevilla, Spain.  
Tel.: +34 954 556 612. Fax: +34 954 557 892.  
E-Mail: [cristinamiquel85@gmail.com](mailto:cristinamiquel85@gmail.com), [teofilo@us.es](mailto:teofilo@us.es), [sgiron@us.es](mailto:sgiron@us.es).

### ABSTRACT

Sports facilities are often designed as a space for various uses, and, as a result, the demand for refurbishment, comfort and sound quality is increasing. In the case in question, the architect designed a sports area in Puente Genil (Cordoba) with the aim of complying with the acoustic requirements necessary for its multipurpose use (sports activities, cultural activities, music events, exhibitions, meetings, etc). The objectives proposed in this paper are, first, to develop a computer model of the space that, once calibrated from measurements of the reverberation time, will enable a comparison to be made between the values of the most significant acoustic parameters measured in situ with those calculated by the model, and secondly, to use the model to optimize a PA system with the aim of increasing the intelligibility of the enclosure.

### RESUMEN

Las instalaciones deportivas en muchas ocasiones se diseñan como un espacio destinado a diferentes usos, debido a esto, el acondicionamiento, el confort y la calidad acústica se hacen cada vez más exigentes. En este caso el propio arquitecto proyectó un espacio polideportivo en Puente Genil (Córdoba) con la pretensión de cumplir con las necesarias exigencias acústicas para un uso polifuncional del mismo (actividades deportivas, culturales, musicales, exposiciones, mítines,...). Los objetivos que se proponen en este trabajo son, en primer lugar, elaborar un modelo informático del espacio que, una vez calibrado a partir de las medidas del tiempo de reverberación, permitirá comparar los valores de los parámetros acústicos más significativos medidos in situ y calculados por el modelo y en segundo lugar, utilizar el modelo implementado para optimizar un sistema de sonorización con la finalidad de aumentar la inteligibilidad del recinto.

### INTRODUCCIÓN

En la arquitectura actual hay una prevalencia de lo visual en el diseño de los espacios, en los que se cuida la estética, la iluminación, los acabados y los colores, sin embargo generalmente se ignora un aspecto técnico primordial a considerar en espacios de uso público: el acondicionamiento acústico para disponer de un campo sonoro específico acorde a las

actividades a desarrollar. En los espacios deportivos los aspectos sonoros no suelen considerarse prioritarios [1, 2], de hecho, es bastante frecuente encontrarse con enormes dificultades cuando, una vez finalizadas las obras, se pretende la instalación de algún sistema electroacústico. Sin embargo, es común que en estos tipos de recintos se desarrollen actividades docentes, culturales o sociales de variada índole para las que no fueron concebidos, y que requieren un comportamiento acústico mucho más exigente para la palabra y la música [3, 4].

El caso que nos ocupa, el Pabellón Polideportivo Joaquín Crespo "Quini", en la localidad de Puente Genil, Córdoba, es una excepción, pues en esta ocasión el arquitecto autor del proyecto, Ricardo Alario, desde los primeros estadios del diseño del pabellón, del tipo denominado "sala de barrio", propuso al grupo de acústica del IUACC una colaboración, para, mediante la definición de sus formas y materiales de acabados, controlar la reverberación del recinto, mejorar la inteligibilidad y disponer este campo físico intangible, en consonancia con el resto de condicionantes funcionales y estéticos (Figura 1).

El presente trabajo pretende realizar un estudio acústico de este pabellón polideportivo con la ayuda de la herramienta informática CATT-Acoustic, con el objetivo de implementar un sistema de refuerzo sonoro electroacústico eficiente siguiendo las recomendaciones técnicas sugeridas por el fabricante de los altavoces. Esto requiere que el sistema de sonorización implementado asegure que los mensajes reproducidos sean de elevada fidelidad, nivel de presión, buena inteligibilidad, sin coloraciones y un recubrimiento uniforme del área de audiencia.



**Figura 1.** Vistas exterior e interior del polideportivo Joaquín Crespo "Quini".

## DESCRIPCIÓN DEL RECINTO Y TÉCNICA DE MEDIDA

El pabellón fue construido en el año 2004 con un volumen de 12.900 m<sup>3</sup> aproximadamente. El espacio presenta una pista deportiva con pavimento de caucho de 45x27 metros y 9.66 m de altura máxima a las cerchas y 12 m de altura máxima del pabellón. Asimismo dispone de 4 gradas laterales de mármol que aportan un aforo de 260 espectadores.

En la ejecución del recinto se adoptaron una serie de decisiones relativas a la razón volumen/aforo, a la reducción de la altura de las paredes laterales reflectoras y uso de materiales de revestimiento para ajustar los tiempos de reverberación a los óptimos en función de los usos contemplados acústicamente más exigentes. Se proyectó un techo absorbente configurado mediante paneles con absorción significativa a bajas y medias frecuencias, (panel Herakustik F25), y éste fue colocado sin alterar el efecto difusor de las cerchas de madera que sustentan la cubierta. También la mayor parte de la superficie de las paredes laterales se revistieron con paneles de cartón yeso en las zonas no accesibles, y panel de fibras aglomeradas con resinas (mecánicamente resistentes) en la zona baja accesible, aumentando la absorción a bajas frecuencias. El pabellón está pues prediseñado para que cumpla con unas condiciones adecuadas desde el punto de vista acústico, pero debido a que cuenta con un gran volumen la implementación de un sistema de apoyo electroacústico resulta necesario para conseguir un índice de inteligibilidad elevado y uniforme en todo el recinto, sobre todo teniendo en cuenta que para determinadas actividades el ruido de fondo puede ser significativo. Este

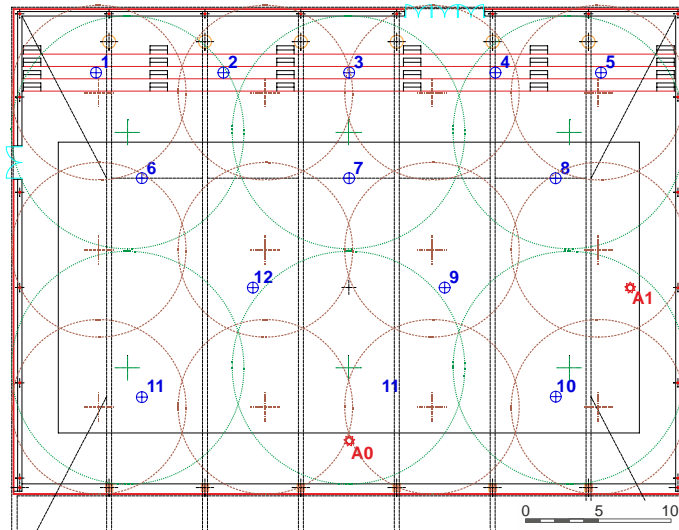
sistema se contemplaba como una opción en el proyecto, aunque entonces, por diferentes razones técnicas y económicas no se ejecutó. Hay que tener en cuenta que un pabellón de estas características, en una población como Puento Genil, se destina a múltiples usos culturales además del deportivo. Incluso para este uso por parte de los centros educativos de la localidad y las escuelas deportivas resulta de la máxima utilidad disponer de este tipo de instalación.

Para evaluar los resultados alcanzados, al concluir su construcción se realizó una medición exhaustiva de los parámetros acústicos más significativos. Dichas medidas tuvieron lugar

con el pabellón desocupado y siguiendo las recomendaciones establecidas en la UNE-EN-ISO 3382:2001 [5]. En dichas medidas acústicas se utilizaron dos posiciones de fuente (posición A0 para un uso transversal y A1 para un uso longitudinal) y 12 receptores distribuidos entre la zona de la audiencia en eventos deportivos y la pista (Figura 2). Las medidas se llevaron a cabo mediante el sistema MLSSA de DRA Laboratories [6]. Se utilizaron señales de secuencias de máxima longitud (MLS) para obtener la respuesta al impulso en cada posición. Estas señales se emítían al recinto mediante la fuente omnidireccional Brüel&Kjaer 4296, colocada a 1.5 m del suelo. La señal era captada, en cada punto, por un micrófono omnidireccional Brüel&Kjaer 4165, colocado a una altura del suelo de 1.20 m, conectado a través del preamplificador B&K-2669 a la entrada de la tarjeta de MLSSA. Las condiciones atmosféricas se monitorizaron durante la realización de las medidas manteniéndose la temperatura alrededor de 24°C y la humedad relativa en torno al 55%.











Para calcular de forma automática los valores de la fuerza sonora se importaron las respuestas al impulso medidas con MLSSA al software WinMLS. Para el resto de los parámetros las respuestas al impulso fueron procesadas tanto con MLSSA como con WinMLS, quedando patente la congruencia de los resultados de ambos análisis [4]. Se obtuvieron los siguientes descriptores acústicos para las bandas de octava comprendidas entre 125 Hz y 4 kHz y en cada posición: tiempo de reverberación T, tiempo de reverberación inicial EDT, fuerza sonora G, claridad C<sub>80</sub>, definición D<sub>50</sub>, tiempo central T<sub>S</sub>, e índices de inteligibilidad RASTI/STI. En este último caso los espectros de emisión no están adaptados ni lo niveles calibrados por lo que los resultados de STI/RASTI no incluyen la influencia del ruido de fondo sobre este parámetro [7]. 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 [8]. También los resultados experimentales mostraron que los valores promediados espacialmente, para las diferentes frecuencias, tienen un comportamiento con la frecuencia similar y una diferencia de escasa magnitud para las dos posiciones de la fuente sonora A0 y A1. Debido a esta similitud [4], se ha limitado la simulación tan solo a la posición A0.

Finalmente para valorar los niveles del ruido de fondo presentes en el interior del recinto, se midió el espectro en el punto 9, promediando durante 5 minutos, con el sistema de ventilación forzada funcionando. Este espectro se puede describir con el índice NCB=45, que resulta aceptable para uso deportivo si bien para otros usos culturales es algo elevado.



**Figura 2.** Planta del pabellón en la que se indican las posiciones de las fuentes (A0 y A1) y de los puntos de medida (numerados del 1 al 12). Así mismo aparecen las posiciones y los contornos de -6 dB de los altavoces para las dos configuraciones analizadas (ver texto).

**Tabla 1.** Coeficientes de absorción (fila superior) y de dispersión (fila inferior), por bandas de octava, utilizados en la simulación. A las superficies sin coeficientes de dispersión asignados se ha aplicado un valor 0.1 a todas las frecuencias. Así mismo se identifican los colores de los materiales utilizados en el modelo de la Figura 3 y la fracción del área de cada uno de los materiales.

Superficie	Color	% Área	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Pista		24.8	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06
Gradas		9.0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
			0.20	0.40	0.60	0.50	0.40	0.30
Techo*		34.9	0.59	0.56	0.41	0.57	0.45	0.80
Pladur		11.1	0.30	0.15	0.10	0.08	0.07	0.06
Vidrio		1.9	0.20	0.15	0.08	0.04	0.03	0.02
Policarbonato		3.6	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Panel		5.6	0.58	0.47	0.35	0.32	0.32	0.30
Rejilla		0.9	0.25	0.27	0.50	0.35	0.35	0.30
Madera		7.9	0.12	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05
			0.10	0.10	0.20	0.30	0.35	0.40
Puerta metálica		0.4	0.14	0.10	0.06	0.08	0.06	0.05

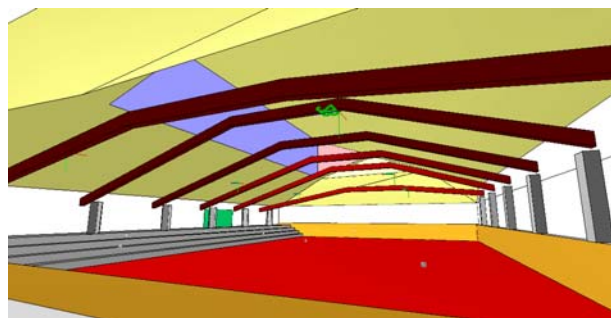
## MODELO COMPUTACIONAL Y RESULTADOS

Los resultados experimentales referidos han resultado definitivos para el ajuste y validación de la simulación acústica realizada del espacio mediante el programa CATT-Acoustic. Esto ha posibilitado la evaluación de la eficiencia del sistema de refuerzo sonoro a implementar.

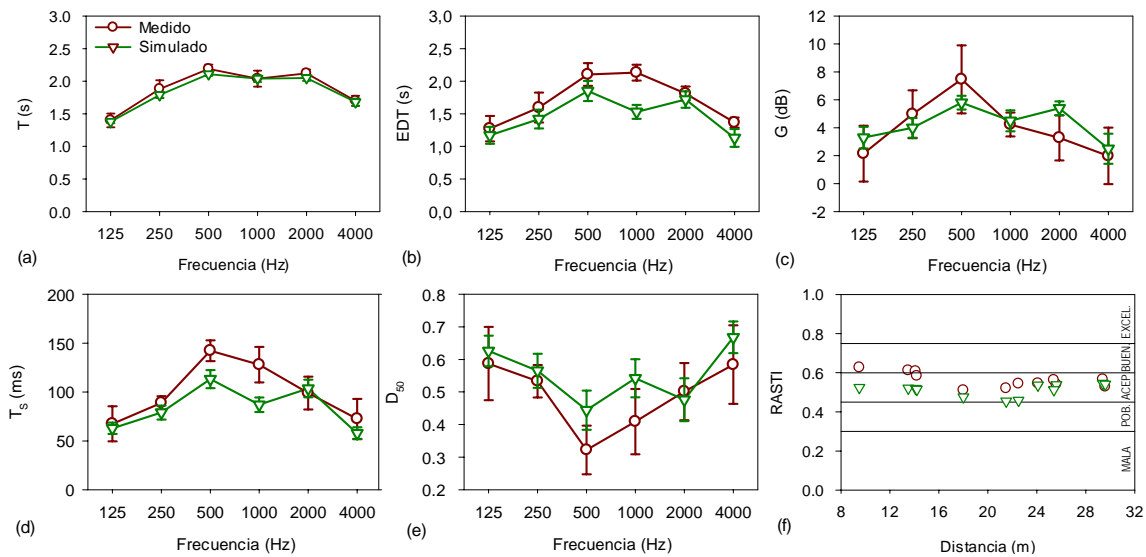
El modelo geométrico se ha construido introduciendo algunas simplificaciones razonables: eliminación de las correas que unen las dos vigas principales de cada una de las cerchas y de la viga superior de las mismas. El efecto acústico se ha compensado ajustando el coeficiente de dispersión del material que configura este techo. En la Figura 3 se visualizan estos detalles. Así mismo, se muestran los distintos materiales con diferentes colores y sus propiedades acústicas se describen en la Tabla 1, fundamentalmente obtenidos de [10-12]. Se ha utilizado un procedimiento iterativo para ajustar los coeficientes de aquellos materiales que resultaban más desconocidos (en este caso el techo, marcado con \* en la Tabla 1, por las simplificaciones ya citadas y porque las condiciones de montaje no correspondían con las condiciones en las que se habían hecho los ensayos por parte del fabricante) de modo que los valores del tiempo de reverberación simulados coincidan con los medidos, con diferencias máximas en torno al 5%, el valor del JND (Just Noticeable Difference) para este parámetro. En la simulación se han introducido las condiciones ambientales en las que se realizaron las mediciones in situ.

Podemos valorar la importancia de cada plano en las simulaciones a partir del porcentaje de impactos sobre cada una de las superficies calculado por el programa CATT-Acoustic [9]. Los resultados muestran que las contribuciones más significativas corresponden al plano de la pista y a los techos inclinados; otros, de importancia menor, son los pilares de la parte posterior de las gradas y las cerchas (Tabla 1).

En la Figura 4 se muestran los resultados medidos y simulados correspondientes a los principales descriptores acústicos relacionados con la inteligibilidad. El tiempo de reverberación promedio (de 500 y 1000 Hz), de valor 2.1 s, es algo elevado respecto al óptimo debido a que las medidas se han realizado en vacío. Para EDT se observa que los valores simulados son del mismo orden que los medidos (salvo para la banda de octava de 1 kHz). Excluida esta banda, las diferencias relativas son del orden del 10 %, lo que supone aproximadamente 2 JND, diferencias



**Figura 3.** Vista interior del modelo 3D del pabellón generado por CATT-Acoustic. Cada color identifica un material diferente.



**Figura 4.** Comparación de los resultados medidos y simulados para los parámetros acústicos en función de la frecuencia (a)-(e) y RASTI en función de la distancia fuente-receptor (f). Las barras verticales corresponden a las desviaciones estándar.

más que asumibles en este tipo de simulaciones. Para la fuerza sonora se observan desviaciones, como máximo de 2 dB (2 JND) en las bandas de 500 y 2000 Hz, en donde también existe mayor dispersión espacial para los resultados experimentales. En  $T_s$  la banda de octava de 1 kHz es la que presenta la mayor desviación relativa. Los valores se mantienen en el rango 60 - 150 ms (correspondiente a su uso para actividades orales y musicales). Los valores de  $D_{50}$ , para cada una de las bandas de octava situadas entre 125 Hz y 4 kHz, se hallan por encima del rango mínimo aceptable entre 0.38-0.61, las mayores dispersiones entre los resultados reales y virtuales se producen en las bandas de 500 y 1000 Hz con diferencias de 2 JND. El análisis de los resultados de RASTI medidos y simulados y la variación del RASTI con la distancia emisor-receptor, permite calificar el grado de inteligibilidad de la palabra en el interior del recinto como *acceptable*, para ambos conjuntos de datos.

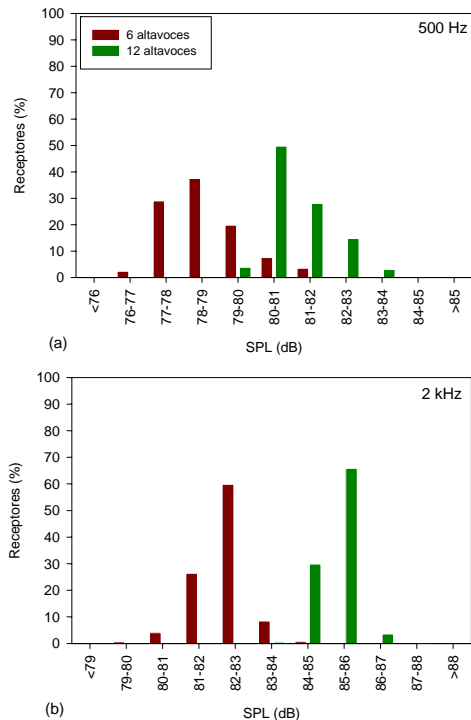
## IMPLEMENTACION DEL SISTEMA ELECTROACÚSTICO

Como se ha destacado ya, este recinto deportivo está diseñado de tal forma que posee unas condiciones acústicas adecuadas, pero debido a su gran volumen, y al posible ruido de fondo asociado a algunas de las actividades a desarrollar en su interior, se requiere la instalación de un sistema de apoyo electroacústico para conseguir un índice de inteligibilidad adecuado en todo el recinto. Una vez que la idoneidad del modelo computacional producido ha quedado validada con la comparación con los resultados experimentales medidos in situ, se ha utilizado éste para recrear el nuevo campo sonoro. Las fuentes emisoras elegidas para la simulación corresponden a los altavoces de techo de la firma BOSE, gama Freespace, DS 100F. El propio fabricante [13] nos proporciona los ficheros de directividades para este altavoz, así como otras características técnicas y los criterios de montaje (altura desde el receptor, distancia entre altavoces,...). La elección ha estado motivada por la reputación del fabricante, disponibilidad de los datos para la simulación, facilidad de colocación en el techo (sugerida por los arquitectos), características direccionales, respuesta en frecuencia adecuadas y nivel de emisión máximo elevado (105 dB a 1 m).

Se ha adoptado la misma altura de colocación para todos los altavoces, de modo que sea menor que la máxima sugerida por el fabricante, pero buscando que queden al menos a la altura de la viga inferior de la cercha para protegerlos de posibles impactos. En las zonas de mayor altura del polideportivo irán colgados, opción contemplada en la ficha técnica si se usan los accesorios adecuados. Esto ha sugerido una altura desde la pista de 6.8 m. Según los

datos técnicos aportados por el fabricante a esta altura de montaje (altura a la cabeza del oyente de 5.3 m), la distancia calculada para cubrimiento mínimo es  $5.3 \times 3 = 16.9$  m, lo que corresponde a disponer 6 altavoces distribuidos en dos filas. La distancia calculada para cubrimiento superior (*premium*)  $5.3 \times 2 = 10.6$  m, supone instalar 12 altavoces. Ambas distribuciones se adecuan bien a las dimensiones del recinto (ver Figura 2). Entre ambas, según las instrucciones del fabricante, se incluiría una estándar en la que los altavoces estarían separados 13.25 m. En la recreación computacional se ha estudiado la configuración de cobertura mínima (6 altavoces) y la de cobertura *premium* (12 altavoces). En la Figura 2 se observan los contornos aproximados correspondientes a - 6 dB respecto del eje para la banda de octava de 2 kHz correspondientes a ambas configuraciones.

Para analizar la distribución espacial del campo sonoro cuando está funcionando el sistema electroacústico, en la Figura 5 se muestran los resultados estadísticos sobre los nodos de las mallas utilizadas en los mapeados, para el nivel de presión sonora SPL para las bandas de 500 Hz y 2 kHz, para las dos configuraciones de altavoces. Se aprecia cómo la distribución, con ligeras modificaciones, sufre un desplazamiento a la derecha de la escala horizontal de 3 dB cuando se duplica el número de altavoces en las dos bandas de octava. En la Tabla 2 se exhiben los niveles de presión sonora, espacialmente promediados sobre todos los receptores de la malla de cálculo, y la desviación estándar correspondiente, para las diferentes bandas de octava y los niveles globales lineal y ponderado "A". Se observa un incremento de unos 3 dB en cada banda con una ligera disminución de las desviaciones estándar cuando hay 12 altavoces.



**Figura 5.** Distribución espacial de los niveles de presión sonora: (a) a 500 Hz; (b) a 2 kHz.

El análisis de los resultados de los mapas de color permite calificar el grado de inteligibilidad de la palabra en el recinto como *buena*, ya que los valores del índice STI son mayores que 0.6 en la mayor parte de los puntos de la planta, con valores algo superiores en la configuración con 12 altavoces (ver Figura 6). Con ello se ha mejorado la inteligibilidad de la palabra con respecto al modelo sin sistema de sonorización, ya que para este caso la valoración cualitativa de este parámetro era de *aceptable* (ver Figura 4(f)).

### Inmunidad del Sistema Electroacústico al Ruido de Fondo

Finalmente, con el objetivo de valorar la inmunidad del sistema electroacústico, en sus dos configuraciones, frente al ruido de fondo, se han simulado los valores esperados del índice STI con diferentes niveles de ruido de fondo. En concreto, se han utilizado los espectros de las curvas de valoración NCB=45 (que califica el ruido de fondo medido in situ), NCB=55 y NCB=65. En la Figura 6 se muestra el mapeado del parámetros STI para los espectros NCB=45, y NCB=65. Se observa que la configuración de 12 altavoces es más robusta frente al

**Tabla 2.** Niveles de presión sonora para las dos configuraciones de altavoces en función de la frecuencia.

Configuración	Parámetro	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Global	dB(A)
6 altavoces	Valor medio (dB)	83.9	81.3	78.6	77.7	82.2	83.3	74.6	89.7	88
	Desv. estándar (dB)	0.7	0.9	1.1	1.1	0.7	0.8	2.6	0.8	0.8
12 altavoces	Valor medio (dB)	86.7	83.9	81.2	80.6	85.2	86.1	77.9	92.5	90.9
	Desv. Estándar (dB)	0.5	0.8	0.9	0.8	0.5	0.5	1.6	0.5	0.5

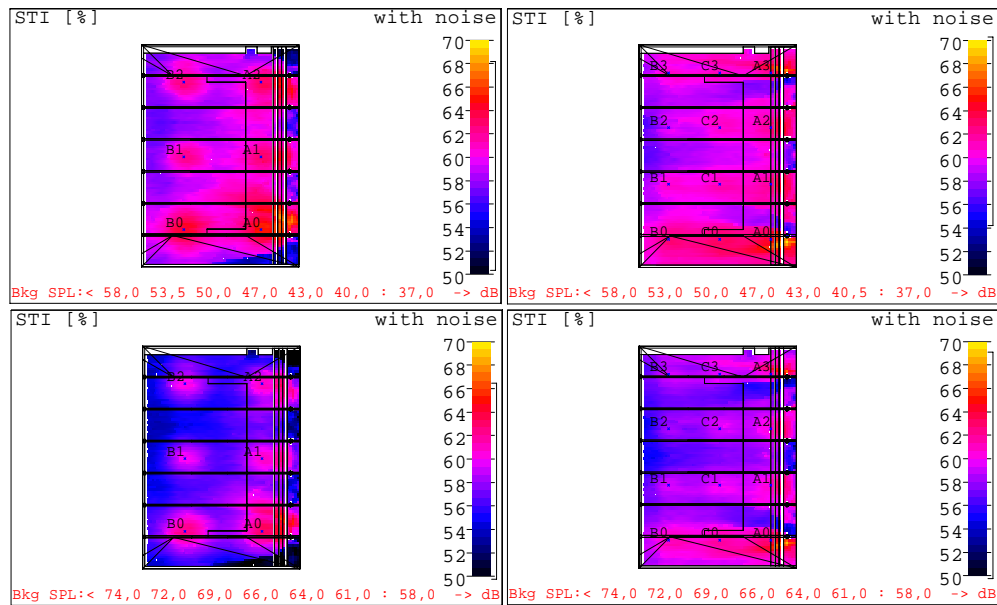


Figura 6. Mapeados sobre la planta de los valores de STI para NCB=45 (arriba) y NCB=65 (abajo), para la configuración de 6 altavoces (izquierda) y 12 altavoces (derecha).

efecto del ruido de fondo en cuanto a la degradación del índice STI.

Para cuantificar este hecho en la Figura 7 se resumen estadísticamente los resultados de los mapeados realizados sobre los nodos de la malla de 0.5x0.5 m utilizada en la simulación. En la Tabla 3 aparecen los valores promedios del índice STI y la desviación estándar para valorar la dispersión espacial. De los datos de la Tabla 3 y de la observación de la Figura 7, se pueden obtener algunas conclusiones significativas: con la configuración de 6 altavoces hay una menor uniformidad del valor del parámetro STI pues para NCB= 45 y NCB=50 prácticamente el 50% de los receptores presenta STI comprendido en el rango [0.45-0.6] (inteligibilidad *aceptable*), y el otro 50% en el rango [0.6-0.75] (inteligibilidad *buena*). En el caso de un ruido de fondo elevado NCB= 65, el número de receptores de inteligibilidad *buena* desciende drásticamente. Para la configuración de 12 altavoces en cambio la mayor parte de los receptores se encuentran en el rango [0.6-0.75] (inteligibilidad *buena*), para NCB= 45 y NCB=50, y solamente con un ruido de fondo elevado NCB= 65 se produce una falta de uniformidad del parámetro en las diferentes zonas de medición y la mayor parte se encuentra en la zona de inteligibilidad *aceptable*. Los valores medios son ligeramente superiores para 12 altavoces, su dispersión espacial se reduce notablemente y la afección debida al efecto del ruido de fondo es menor.

Como consecuencia de todo lo anterior se puede concluir que el sistema de 12 altavoces presenta una más alta inmunidad al ruido de fondo, incluso en condiciones de ocupación normal del recinto, puesto que sólo a partir de valores de NCB=65 hemos detectado que empieza a tener influencia, el efecto del ruido de fondo, con lo cual todavía hay un margen en el que el sistema electroacústico seguirá siendo eficaz.

## CONCLUSIONES

El arquitecto tuvo en cuenta los aspectos acústicos desde las primeras fases del diseño consiguiendo unos resultados muy aceptables. No obstante, debido a su gran volumen y a la

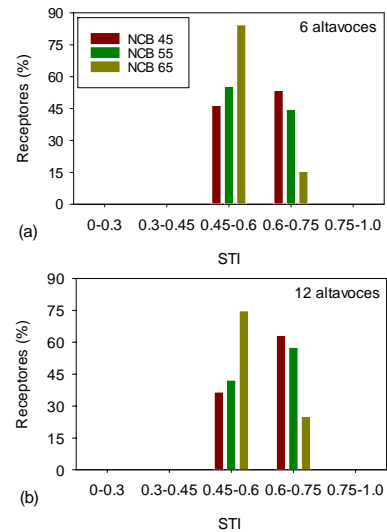
Tabla 3. Valores simulados promedio y desviación estándar asociada para cada una de las configuraciones de altavoces y para cada espectro del ruido de fondo considerado en términos de las curvas NCB.

STI	6 altavoces			12 altavoces		
	NCB=45	NCB=55	NCB=65	NCB=45	NCB=55	NCB=65
Promedio	60.3	59.8	57.2	60.6	60.4	59
Desviación estándar	2.2	2.3	2.6	1.7	1.7	1.8

posible existencia del ruido de fondo en las actividades a desarrollar, se contemplaba inicialmente la implementación de un sistema de refuerzo sonoro que, por diferentes razones técnicas y económicas no se ejecutó.

Las medidas experimentales realizadas en el pabellón tras su construcción se han utilizado para calibrar el modelo 3D del mismo, ajustando los valores de T simulados de tal forma que no difieran en más del 5% de los experimentales. El modelo computacional ajustado presenta un buen comportamiento al comparar los resultados experimentales y simulados del resto de los predictores acústicos. Tras esta validación, el modelo implementado ha permitido recrear el comportamiento de un conjunto de altavoces de techo de la firma BOSE, estudiando la cobertura e inmunidad a la presencia del ruido de fondo en dos configuraciones indicadas por el fabricante: la de cobertura mínima (6 altavoces) y la de cobertura *premium* (12 altavoces).

El nivel de presión sonora para todas las bandas de octava presenta un incremento de unos +3 dB para la configuración de 12 altavoces con una distribución espacial más homogénea. Para analizar la inmunidad al ruido de fondo del índice de inteligibilidad STI, éste se ha considerado en tres supuestos correspondientes a los espectros NCB=45, NCB=55 y NCB=65. Los resultados han mostrado que la configuración de 12 altavoces presenta una mayor inmunidad al ruido de fondo ya que para los dos primeros índices de ruido de fondo, la inteligibilidad puede considerarse como *buena* y que solo para NCB=65 aparece un ligero detrimento de la inteligibilidad que pasa a ser *aceptable*.



**Figura 7.** Resultado estadístico de los mapeados del índice STI con los tres espectros de ruido de fondo (a) para 6 altavoces y (b) para 12 altavoces.

## REFERENCIAS

- [1] M. Arana, A. Vela, "Medidas de parámetros acústicos del polideportivo de la Universidad de Navarra. Modelización y ajuste con los resultados experimentales". TecniAcústica 1994 Valencia.
- [2] J. Romero, L. J. Faus, "Estudio de las condiciones acústicas del pabellón polideportivo municipal de Gandía". TecniAcústica 1992 Pamplona.
- [3] X. Duanqi, W. Zheng, C. Jinjing, "Acoustic design of the gymnasium and natatorium of Chinese National Olympic Sports Center". Appl. Acoust. 34, 267-279 (1991).
- [4] T. Zamarreño, J. J. Sendra, R. Alario, P. Alonso, "El Acondicionamiento acústico en el proyecto de un espacio polideportivo cubierto". TecniAcústica 2005 Terrasa.
- [5] Norma UNE-EN-ISO 3382:2001, "Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos", (actualmente sustituida por la norma UNE-EN ISO 3382-1:2010).
- [6] MLSSA, Maximum-Length Sequence System Analyzer, Reference Manual, version 10W. DRA laboratories.
- [7] D. D Rife, "Modulation transfer measurement with maximum length sequences", J. Audio Eng. Soc. 40(10), 779-790 (1992).
- [8] M. Galindo, T. Zamarreño, S. Girón, "Comparative study of various techniques to measure speech intelligibility", N° especial Revista de Acústica, Vol. XXXIII (CD-Rom), Forum Acusticum Sevilla 2002. ISBN 84-87985-07-6.
- [9] CATT-Acoustic v.8 user's manual. Room Acoustics Prediction and Desktop Auralization, CATT, 2002.
- [10] M. Vorländer, "Auralization, fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms and acoustic virtual reality", Springer-Verlag, Berlin, 2008.
- [11] T. J. Cox, P. D'Antonio, "Acoustic absorbers and diffusers. Theory, design and application". Spon, London, 2004.
- [12] Physikalisch-Technische Bundesanstalt. <http://www.ptb.de/en/org/1/16/163/datenbank.htm> (visitada el 22/07/2011).
- [13] <http://pro.bose.com/ProController?url=/pro/products/freespace/ds100f/ds100f.jsp> (visitada el 22/07/2011).