

PROYECTO ACÚSTICO DE UNA SALA DE ENSAYO PARA MÚSICA DE PEQUEÑAS DIMENSIONES EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Alicia Giménez¹, Arturo Barba¹, Jaume Segura², Salvador Cerdá¹, Radu Lacatis¹, José Romero¹
Rosa M^a Cibrián²

¹ Universidad Politécnica de Valencia

² Universitat de Valencia

{agimenez@fis.upv.es, arbarse@fis.upv.es }

Resumen

En este artículo se describe el proceso de diseño de una sala de ensayos de música de reducidas dimensiones en la Universidad Politécnica de Valencia (España). La sala será utilizada por el Coro de la UPV, por las agrupaciones camerísticas y por la banda y orquesta de la Universidad.

Como punto de partida, hemos estudiado el rango apropiado de los parámetros acústicos más importantes para este tipo de salas. Hemos desarrollado después varias propuestas arquitectónicas, y las hemos simulado con el programa CATT-Acoustic. Finalmente, a partir de las simulaciones virtuales hemos elegido los materiales constructivos adecuados para el diseño final de la sala.

Palabras-clave: acústica arquitectónica, salas de ensayo, simulaciones acústicas.

Abstract

In this paper we describe the design process developed for a small rehearsal room for music in the Polytechnic University of Valencia (Spain). The room will be used by the University Choir, by instrumental chamber groups and by the orchestra of the University.

As starting point, we studied the appropriate range of the most important acoustics parameters of this kind of rooms. Then we have drawn several architectural proposals, and we have simulated them with the CATT-Acoustic program. With the virtual simulations we have chosen the appropriate construction materials for the final design of the room.

Keywords: building acoustics, rehearsal room, acoustics simulations.

1 Introducción

El objetivo del trabajo que aquí se describe es el proyecto acústico de la “Sala de Música y Ensayo” que se va a construir próximamente en el campus de Vera de la Universidad Politécnica de Valencia, proyecto acústico que persigue la obtención de unas condiciones acústicas adecuadas a las actividades que se desarrollen en estos espacios.

Este objetivo se obtiene por una parte asegurando que el aislamiento acústico que ofrecen los elementos constructivos sean los adecuados de forma que el nivel sonoro existente en el interior de las distintas dependencias, tanto el generado por fuentes exteriores como los generados por las fuentes propias de cada una de ellas, no se transmita a las contiguas perturbando las condiciones óptimas de uso. Por otra parte se deberá definir la geometría y materiales a emplear para la obtención de un campo sonoro óptimo para el intérprete, (distribución uniforme, absorción adecuada, ausencia de focalizaciones y resonancias, claridad, reverberación requerida a su uso, etc.).

Este proyecto consta de tres pequeñas aulas para ensayos de grupos camerísticos, solistas y ensayos parciales de coro; y una sala de mayor tamaño (89 metros cuadrados) que se utilizará para ensayos del coro, de la banda o de las agrupaciones camerísticas de la Universidad Politécnica de Valencia. En este trabajo se tratará el diseño de esta última sala.

2 Características generales

2.1 Exigencias acústicas básicas propias de salas de ensayo de música

La respuesta del recinto a la señal sonora es la suma de las contribuciones del sonido directo, reflejado y transmitido por las distintas superficies que conforman la sala. Con el fin de asegurar un nivel sonoro adecuado en todo el recinto, éste se deberá diseñar de manera que asegure:

- Adecuada sonoridad
- Óptima Reverberación
- Evitar ecos, focalizaciones y resonancias
- Limitar el ruido de fondo y la vibración de las instalaciones (recomendamos el cumplimiento de la curva NC-20 o NC-25)

Particularizando ahora al caso que nos ocupa, dado que la fuente emisora es una orquesta, coro, etc., el campo sonoro es extremadamente complejo y difícil de caracterizar por su gran variabilidad y dependencia de múltiples factores. Por otra parte, es a partir de la década de los 80 cuando las necesidades y exigencias acústicas de los músicos empiezan a ser investigadas de forma sistemática y así, en el momento actual es posible determinar la calidad acústica del “escenario o lugar de ensayo” desde el punto de vista del intérprete, mediante ciertos parámetros objetivos que valoran sus exigencias acústicas.

Las cualidades deseables a obtener en la “sala de ensayo musical” podemos resumirlas en [1]:

- Alta claridad
- Tiempo de reverberación no alto. Calidez y Brillo
- Adecuada difusión
- Las reflexiones en el intervalo 15-35 ms.
- Preferible la recepción de las reflexiones laterales con anterioridad a las procedentes del techo para evitar el enmascaramiento

Todo ello con objeto de asegurar al intérprete

- Confort como solista
- Confort de acople de conjunto

CLARIDAD:

Los parámetros que miden la claridad están basados en el estudio de las características del sonido reflejado así como su relación con el sonido directo. Se utilizan una serie de parámetros que expresan relaciones energéticas y que dependen del tiempo. Dichos parámetros son la Claridad, C80 y la Definición, D50.

La definición de estos parámetros proviene del hecho de que la energía contenida en estos intervalos es considerada provechosa o útil, y en cambio la energía posterior se valora como secundaria, y en algunos casos hasta perjudicial. Estudios realizados muestran la buena correlación existente entre estos criterios y la inteligibilidad de la palabra para el caso de la Definición y de la música para la Claridad.

La claridad musical puede cuantificarse mediante el parámetro C80. Indica el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical. Se determina a partir de la relación entre la energía sonora que llega al oyente durante los primeros 80ms desde la llegada del sonido directo y la que le llega después de los primeros 80ms, calculada en cada banda de frecuencias entre 125Hz y 4kHz. Los valores recomendados dependen del tipo de música. El valor promedio para frecuencias medias-altas (500Hz, 1kHz y 2kHz) puede aceptarse entre -4 y 8 dB.

La Definición D50 es la relación entre la energía que llega al oyente dentro de los primeros 50ms desde la llegada del sonido directo (incluye el sonido directo y las primeras reflexiones) y la energía total recibida por el mismo. Se calcula en cada banda de frecuencias entre 125Hz y 4kHz. Su valor deberá ser siempre $D > 50\%$; Cuanto más elevado sea dicho valor, mejor será la inteligibilidad de la palabra y la sonoridad.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN, CALIDEZ Y BRILLO

El Tiempo de Reverberación (RT) lo determinaremos a partir del Primer Tiempo de Descenso (EDT) que es más subjetivo y mayoritariamente utilizado por expertos acústicos, dada su mejor correlación con la impresión subjetiva de viveza. Se define como seis veces el tiempo que transcurre desde que el foco emisor deja de emitir hasta que el nivel de presión sonora cae 10 dB. Al igual que el RT, el EDT varía en función de la frecuencia. En salas destinadas a la audición musical los valores óptimos de este parámetro a frecuencias medias varían (según el tipo de música) entre 1,6 y 2,2 s., dependiendo también del volumen del recinto. En el caso que nos ocupa, sala pequeña para ensayo de música, la reverberación deberá ser baja pero sin llegar a crear una sala sorda, entre 0,6 y 0,8 s.

La Calidez Acústica o Timbre (BR) indica la respuesta de la sala a frecuencias bajas, por tanto representa la riqueza de graves, la suavidad y la melosidad de la música en la sala. El Brillo (Br) es indicativo de la respuesta a frecuencias altas y por tanto de sonido claro y rico en armónicos. Los valores para la Calidez deberán estar en torno a 1,2 y para el Brillo superior a 0,85.

El Tiempo de Reverberación a medias junto con la Calidez y el Brillo determinan la curva tonal adaptada al uso del recinto.

2.2 Bases de la simulación acústica realizada.

El programa utilizado para la simulación de nuestro trabajo es CATT-Acoustic [2], que combina el Algoritmo de Trazado de Rayos (basado en el trazado y seguimiento de los rayos sonoros desde una fuente, hasta un receptor siguiendo las leyes de la acústica geométrica y considerando hasta un cierto orden de reflexiones) y el Algoritmo de las Fuentes Imagen (creación de imágenes de la fuente en cada superficie a partir de la geometría especular).

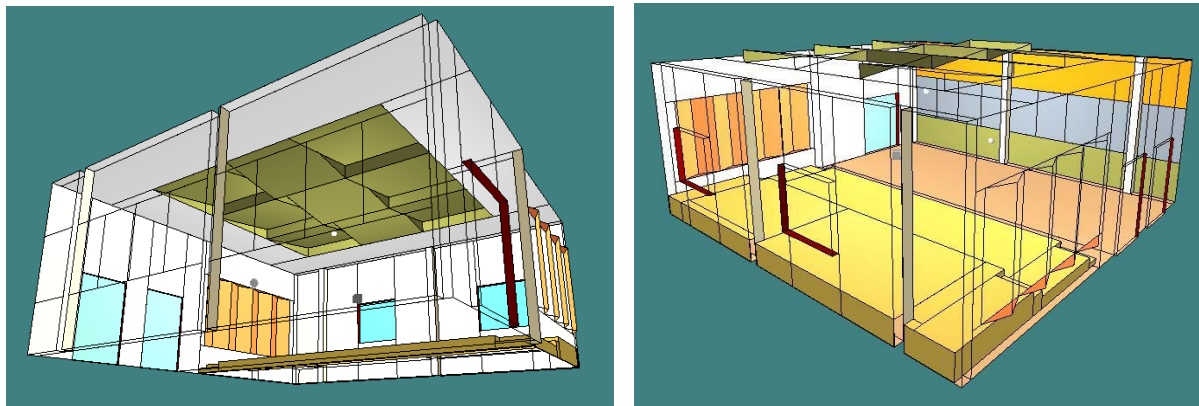
A partir de un modelo geométrico de la sala importado desde el programa AutoCAD que elaboramos inicialmente, y otorgándole a cada superficie unas características de absorción y difusión acústica, el programa CATT nos permite obtener:

- Ecogramas en bandas de frecuencia de octavas en 16 receptores que distribuimos por toda la sala¹[3]
- Valores de los parámetros de calidad acústica en dichos receptores por bandas de octava
- Mapas de distribución de los parámetros calculados en toda la sala

3 Proyecto acústico

3.1 Descripción de la sala; Simulación

La sala de ensayos que nos ocupa tiene una superficie aproximada de 89 metros cuadrados y una forma en planta aproximadamente cuadrangular (9,30 x 9,56 metros cuadrados), con una altura libre de 3.63 m; presenta por tanto un volumen aproximado de 323 metros cúbicos. El proceso de diseño se ha realizado en paralelo a las sucesivas simulaciones acústicas de la sala. Las Figuras 1 y 2 muestran imágenes tridimensionales de la simulación definitiva de la sala de ensayos.



Figuras 1 y 2 - Imágenes tridimensionales de la simulación acústica definitiva

3.2 Acabados interiores de la sala

Las soluciones constructivas adoptadas en cada cerramiento para alcanzar las necesidades acústicas que los usos anteriormente mencionados implican, son las que a continuación se detallan. En cada cerramiento indicamos brevemente la solución constructiva empleada y sus materiales.

¹ Número más que suficiente de receptores, si tenemos en cuenta que la sala no alcanza 100 metros cuadrados de superficie; y muy por encima de los requerimientos que la Norma UNE-EN ISO 3382 impone para la realización de mediciones acústicas en salas.

3.2.1 Solado

Dado que la nave va directamente apoyada en el terreno y por tanto no hay debajo espacios de los cuales se tenga que aislar, el principal cometido del solado será evitar la transmisión acústica de vibraciones con respecto a los espacios contiguos². Así el solado de la nave se instalará sobre la solera preexistente ya ejecutada.

En lo relativo a acondicionamiento interior, el acabado exterior del solado será en parquet flotante de madera de tonalidad clara (recomendación de técnicos de iluminación para salas de ensayo de música) sobre rastreles colocado directamente sobre la losa de hormigón. La madera proporciona una percepción de calidez en los espacios, y la cualidad de ser “flotante” la hace actuar como excelente transmisor de vibraciones sonoras lo cual favorece la conjunción entre los músicos de una agrupación. Éstas son las dos razones principales que justifican el empleo frecuente de la madera flotante como acabado de los escenarios de numerosos auditorios.

Sobre el parquet de la sala central y por petición expresa de las agrupaciones que en el futuro serán usuarias de la nave, se colocará una tarima doble de madera que forme gradas a dos alturas distintas para la adecuada colocación bien del coro, bien de la banda.

3.3 Techo de la sala

El techo es la superficie libre de mayor área de toda la sala; de ahí la importancia de su diseño y de la elección de los materiales para obtener el resultado acústico adecuado.

Se ha buscado una geometría irregular pero ordenada, que favorezca un reparto homogéneo de las primeras reflexiones del sonido y que evite focalizaciones no deseadas. El techo no va a ser por tanto un elemento únicamente de absorción acústica (en este caso); combinará tres funciones distintas: absorber, reflejar y difundir el sonido, además de servir de soporte de las luminarias y de las rejillas de impulsión de aire acondicionado.

Este techo se compone de una malla de 9 paneles de madera con 8° de inclinación respecto a la horizontal de 2 x 2 metros cada uno de ellos (Figura-3), dispuestos según el plano adjunto. En cada recuadro se colocarán 4 luminarias (una cada metro cuadrado), 36 en total. Fuera de este espacio central panelado, el techo se completa con paneles de yeso laminado hasta alcanzar el contorno de la sala. Para alcanzar una iluminación homogénea se colocarán en estos paneles de yeso los puntos de luz que observamos en la Figura 4 completando la cuadrícula de luminarias central. De igual modo, las rejillas de impulsión de aire acondicionado se dispondrán linealmente delimitando este espacio central, según el plano de la Figura 4.

² Recordamos que junto a esta sala hay tres pequeñas aulas de ensayo, a las cuales hemos aludido ya en la introducción de este artículo.

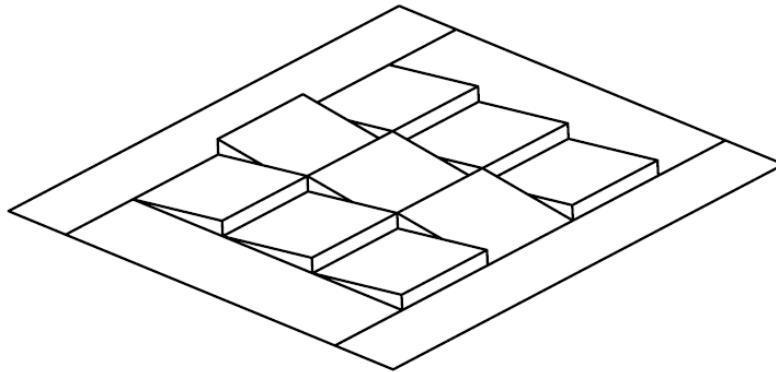


Figura 3 - Esquema tridimensional del techo de la sala central

En cuanto a la orientación de los paneles, estos se colocarán paralelamente en tres filas, cambiando la orientación de los mismos en cada una de las filas. Los mencionados paneles de madera de la nave serán de distintos materiales: Topakustik 8/2 M para los paneles grafiados en color oscuro, y paneles de madera lisos sobre doble placa de yeso laminado en los recuadros grafiados en color gris claro (Figura 4).

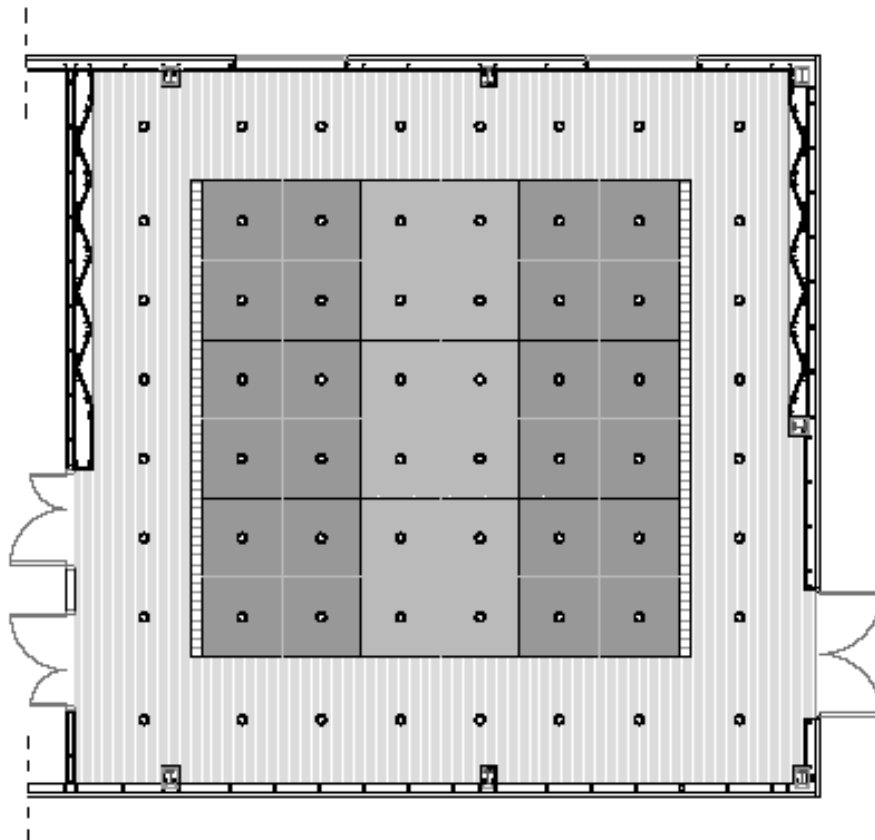


Figura 4- Planta de techo de la sala de ensayos; los paneles grafiados en color oscuro presentan inclinación hacia la pared con ventanas, mientras los paneles grafiados en color claro se inclinan a la inversa, hacia la pared ciega de la sala.

En las siguientes Figuras 5 y 6 podemos observar cómo el diseño del techo con tres secciones distintas (la sección plana perimetral y las dos representadas en estos dibujos) favorece la distribución homogénea de las reflexiones de primer orden.

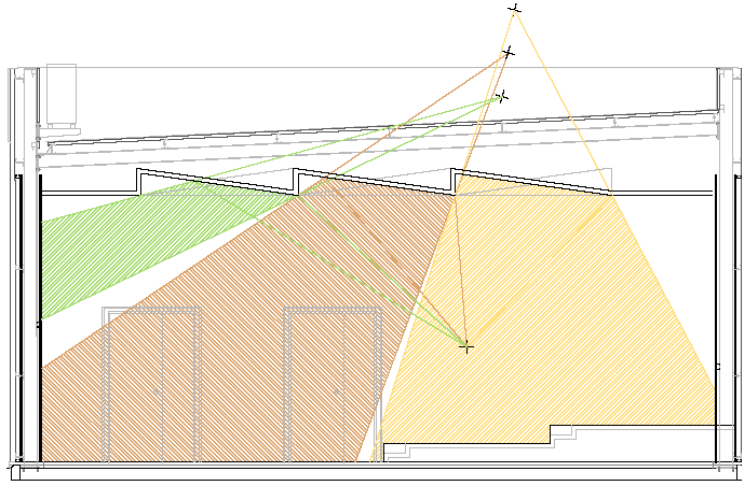


Figura 5- Estudio acústico-geométrico del techo (Sección 1)

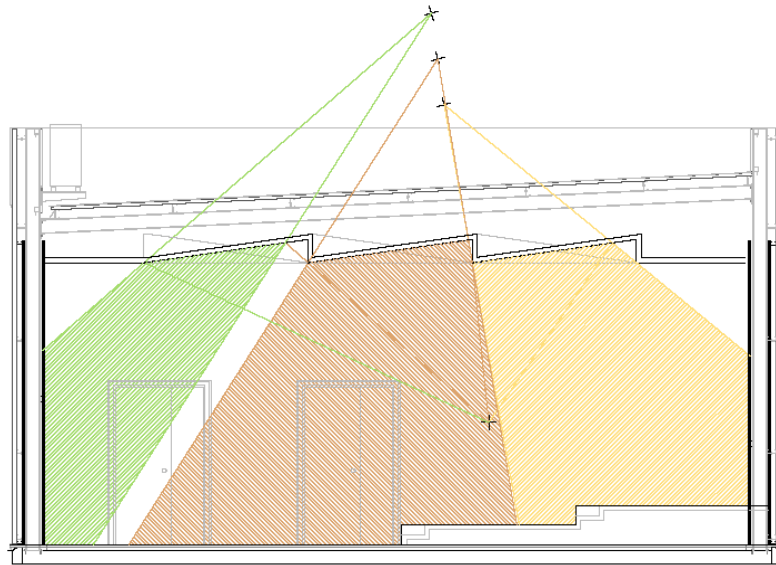


Figura 6- Estudio acústico-geométrico del techo (Sección 2)

3.4 Paredes laterales: Difusores

En cuanto a las paredes laterales, el principal defecto acústico a evitar en la ejecución de salas de dimensiones reducidas como lo es ésta, es la aparición del llamado “eco flotante”, es decir, la aparición de coloraturas tímbricas a ciertas frecuencias provocadas por la creación de ondas estacionarias entre paredes paralelas. Para evitar esto, en las paredes Este-Oeste junto a la zona de colocación de los músicos (junto a las gradas) se realizarán difusores de obra. Estos difusores, son elementos en forma de diente de sierra, y se componen en cada una de estas dos paredes, de 8 planos

verticales inclinados de 2.10 m de altura por 0.50 m de ancho colocados con un ángulo de 22° con respecto al paramento ejecutados con paneles de yeso laminado sobre estructura metálica, y revestidos exteriormente con paneles lisos de la misma madera que el techo. Los difusores se colocarán a 0.80 m de altura con respecto a la cota de acabado del suelo (Figura 7)

Se consigue con ellos una difusión acústica que evita las reflexiones especulares y el nocivo eco flotante entre paredes paralelas, o lo que es lo mismo, reflexiones estacionarias que potencian ciertas frecuencias variando la percepción de los timbres de los instrumentos musicales.

A continuación mostramos el efecto de estos difusores frente a las primeras reflexiones del sonido, las que más condicionan la acústica de los recintos. Vemos en la Figura 8 que la difusión generada en la sala considerando la emisión desde un foco central, es máxima.

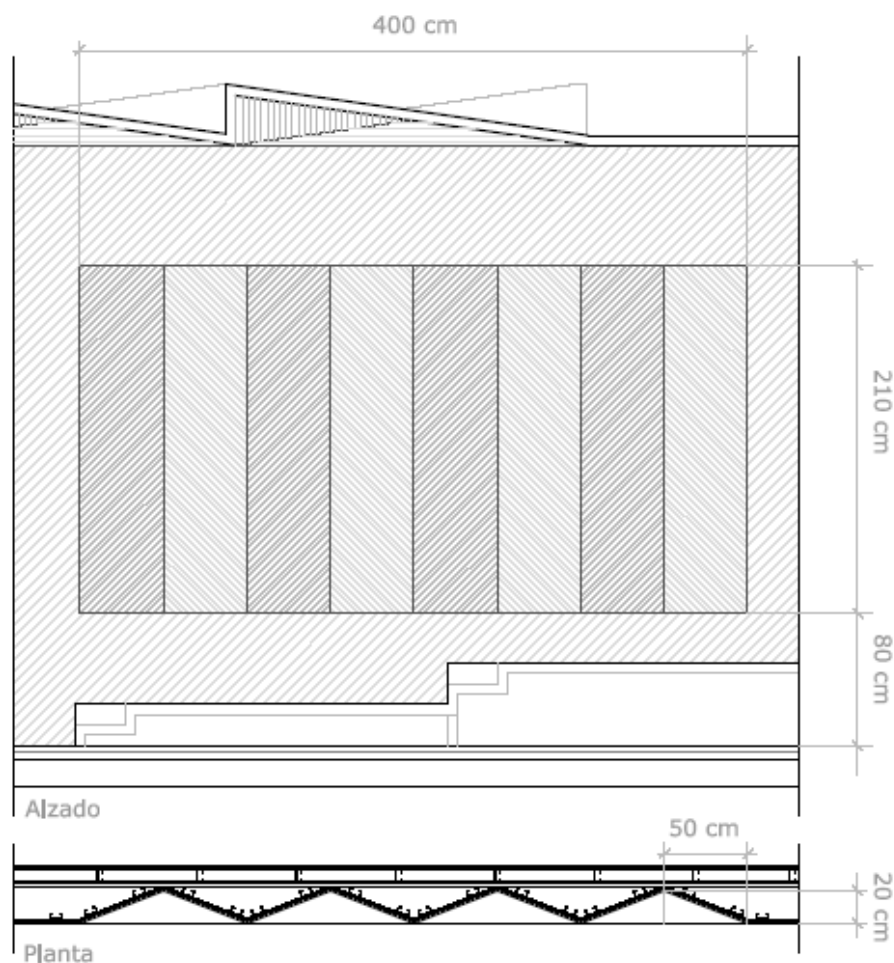


Figura 7- Alzado y sección en planta de los difusores

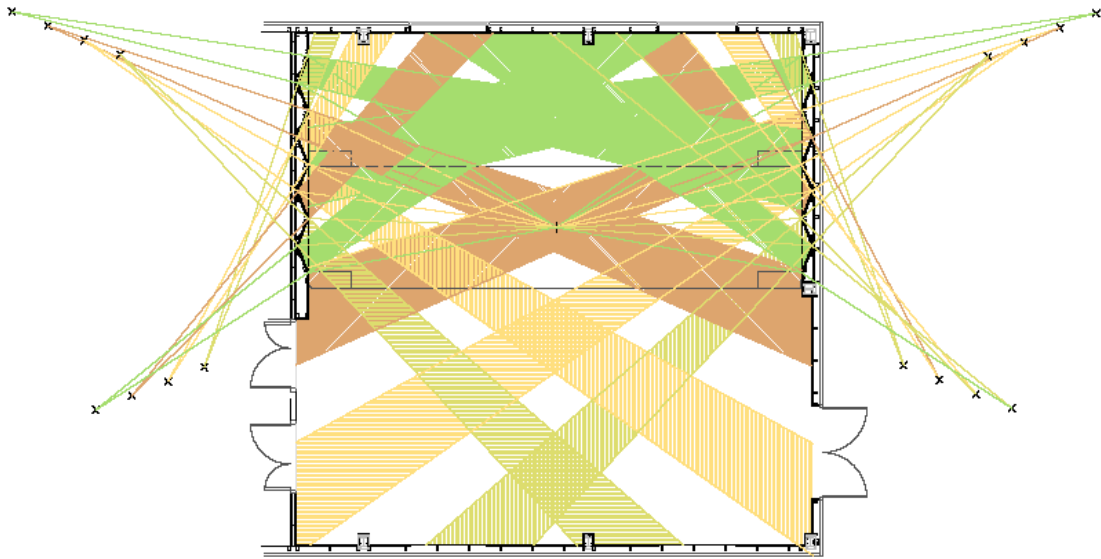


Figura 8- Estudio acústico-geométrico de los difusores de las paredes laterales de la sala

4 Simulación Determinación de los parámetros acústicos

La fuente emisora se ha situado en un punto centrado en el eje transversal de simetría de la sala sobre la tarima de la misma a una altura de 1,70 m (A0 en la Figura 9). Su diagrama de emisión es omnidireccional con los niveles (dB) por frecuencias centrales en octavas que se indican en la tabla siguiente:

Tabla 1 – Potencia de emisión de la fuente por bandas de frecuencia de octava

	125	250	500	1000	2000	4000
Potencia (dB)	70.0	73.0	76.0	79.0	82.0	95.0

En primer lugar se han estudiado los parámetros acústicos importantes a los cuales nos hemos referido ya, para un observador situado en el punto “1” de coordenadas (1.729, 2.028, 1.3.00) con objeto de determinar los ecogramas en las diferentes bandas de frecuencia (Figuras 10 y 11). Estos ecogramas muestran que las reflexiones de primer y segundo orden (en el ecograma en color rojo y azul respectivamente) se encuentran en el intervalo recomendado.

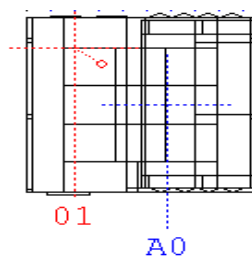
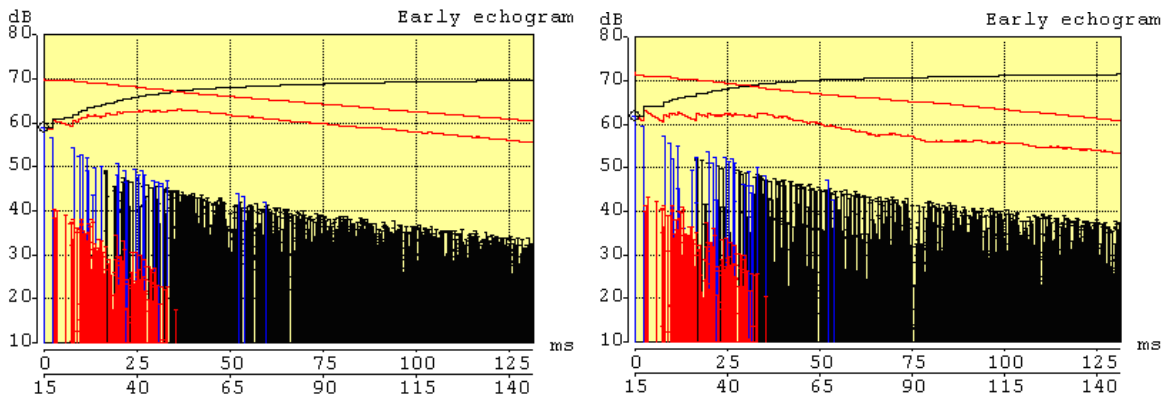


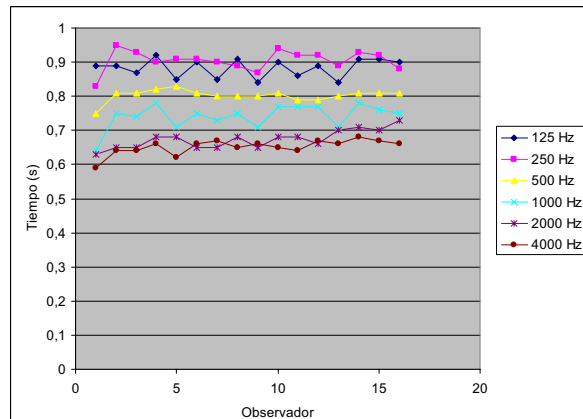
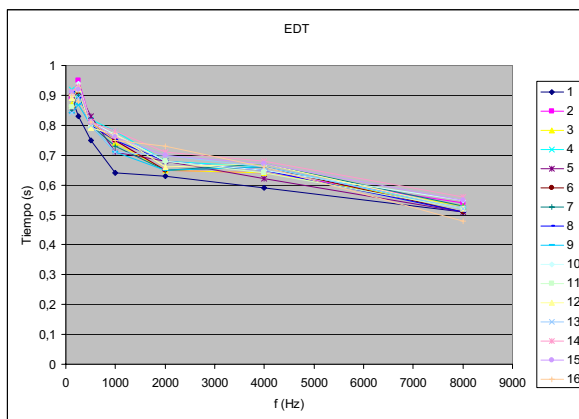
Figura 9 – Posición de la fuente y del receptor 1



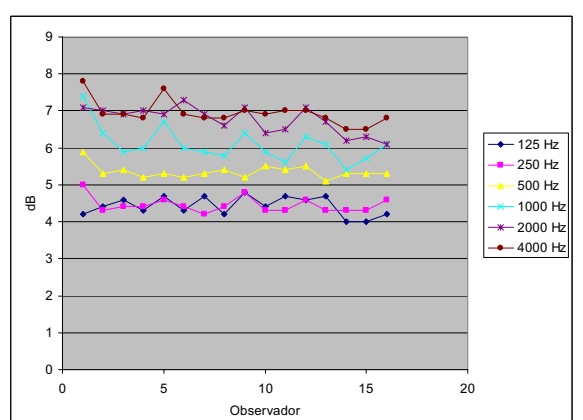
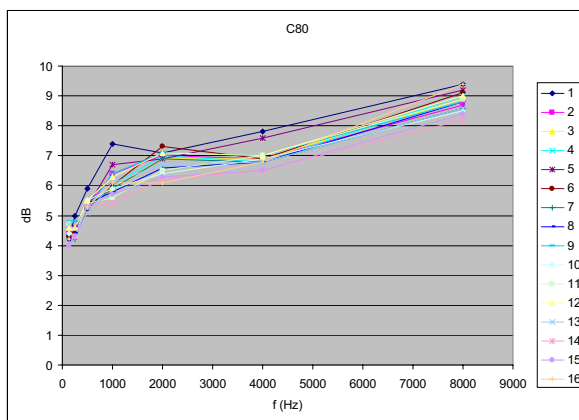
Figuras 10 y 11 – Ecogramas a frecuencias centrales (500Hz y 1 kHz) para el receptor n°1

El EDT calculado para todo el rango de frecuencias varía entre 0,59 y 0,89 s. El EDTmid (500-1000 Hz) es de 0,69 s., valor que está en el intervalo requerido.

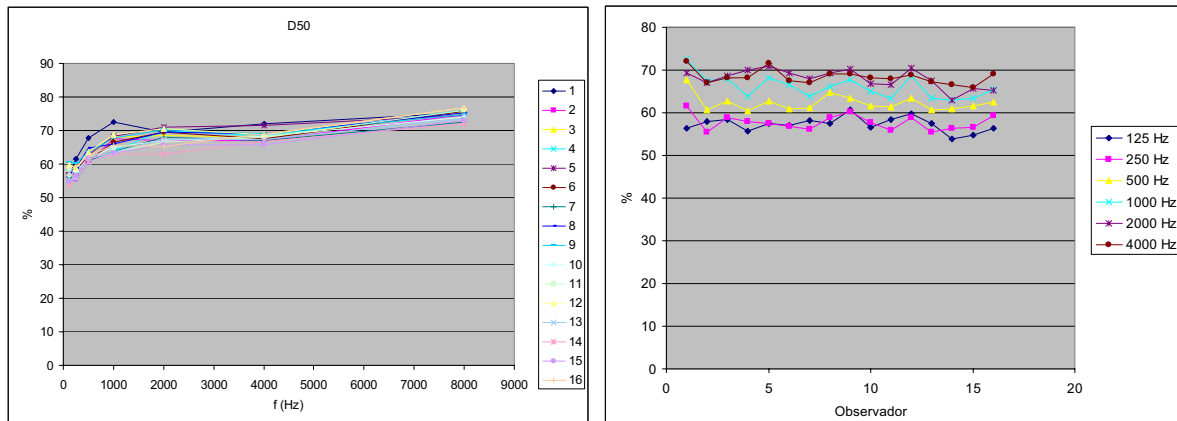
Asimismo los valores obtenidos para la Calidez (BR) y el Brillo (Br) satisfacen las exigencias planteadas. Los parámetros directamente correlacionados con la claridad acústica, C80 y D50, satisfacen los valores recomendados en todo el rango de frecuencias.



Figuras 12 y 13 – EDT

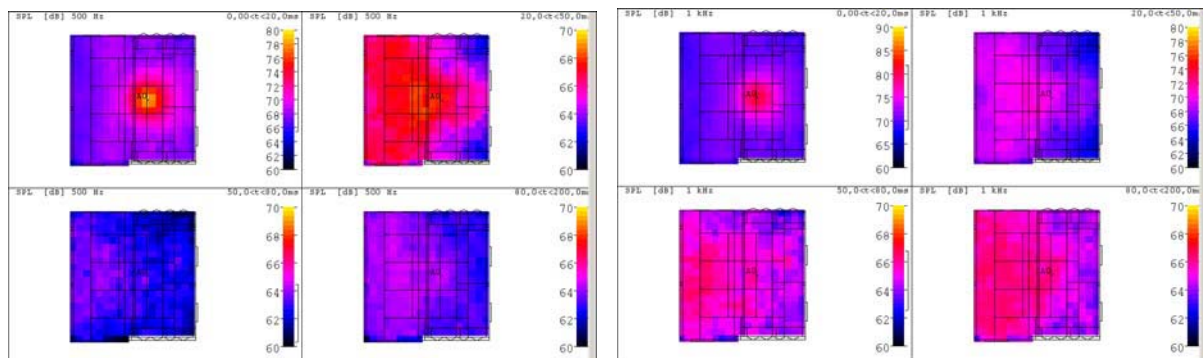


Figuras 14 y 15 – C80



Figuras 16 y 17 –D50

El mapa secuencial de distribución de niveles sonoros en toda la zona de audiencia para las frecuencias centrales de octava nos indica el establecimiento de un campo homogéneo a partir de 50 ms (Figuras 18 y 19).



Figuras 18 y 19 – Mapa secuencial de distribución de niveles sonoros en toda la zona de audiencia

5 Conclusiones

Analizando la representación en 3D de los parámetros de reverberación (EDT), y de claridad (D50, C80) en toda la zona de audiencia, para las frecuencias centrales y las representaciones de los mismos para en 16 puntos distribuidos en la sala, se puede concluir que están en el rango de calidad acústica exigido.

Tabla 2 – Rango de parámetros recomendados y simulados

Parámetro	Intervalo Recomendado	Valor simulado
<i>C80</i>	-4 dB -8 dB	7 dB
<i>D50</i>	> 50%	65 %
<i>EDT</i>	0.6 s – 0.8 s	0.69 s
<i>BR</i>	1.2 - 1.7	1.4
<i>Br</i>	> 0.85	0.86

Finalmente hemos de indicar que en la literatura habitual se considera que el valor adecuado para este tipo de salas para el parámetro BR, calidez, ha de estar alrededor de 1.2. El valor obtenido es un poco mayor (1.4). Sin embargo, en un trabajo anterior publicado en *Applied Acoustics* [4], obtuvimos como resultado que existe una relación entre la fuerza acústica (G) y la calidez, que permite evaluar objetivamente la calidad de las salas. Siguiendo este criterio, y con los valores de G obtenidos en la simulación, el valor de BR debería estar alrededor de 1.65. Es decir, que combinando ambos criterios podemos exigir un valor comprendido entre 1.2 y 1.7. El valor simulado satisface dicha condición.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al Vicerrectorado de Cultura de la Universidad Politécnica de Valencia y se ha realizado en el contexto de los Proyectos de Investigación Coordinados con referencia BIA2003-09306 y BIA 2008-05485 del Ministerio de Educación y Ciencia.

Referencias

- [1] Beranek, Leo L. *Concert halls and opera houses: Music, Acoustics and Architecture*, New York, New York Springer-Verlag, 2004
- [2] CATT-Acoustic v 8.0b, user's manual: *Room Acoustics prediction and desktop auralization*, CATT, Gothenburg (SWEDEN), 2002
- [3] UNE-EN ISO 3382: Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos, 2001
- [4] Cerdá, S.; Giménez, A.; Romero, J.; Cibrián, R.; Miralles, J.L. Room acoustical parameters: A factor analysis approach. *Applied Acoustics*, aceptado 6 enero 2008; próxima publicación.