

## ESTUDIO ACÚSTICO DEL PALAU DE LA MÚSICA DE VALENCIA

PACS: 43.55.-n

Vallejo Ortega, G.; Sánchez Rivera, J. I.

Deptº de Física Aplicada – ETS de Arquitectura de Valladolid (España)

e-mail: [gvallejortega@yahoo.es](mailto:gvallejortega@yahoo.es); [jignacio@arq.uva.es](mailto:jignacio@arq.uva.es)

### ABSTRACT

This work presents the conclusions of the acoustic study made in the Palau de la Música, located in the city of Valencia (Spain). The auditorium was built by the Spanish Architect José María García de Paredes in 1987. The acoustics of the hall were analyzed according to the final outcome when the hall was inaugurated. The following points have been noted:

- Description of construction project, in which the influence of the acoustic consultant Lothar Cremer and the contribution of the firm García BBM are present.
- Explanation of the acoustic simulation results: sound rays trajectories from the source to the receivers have been analyzed and acoustic parameters have been evaluated.
- Acoustic measurements: the results are compared with those from the acoustic simulation.

### RESUMEN

Este trabajo presenta las conclusiones del estudio acústico realizado en el Palau de la Música de Valencia (España). Este auditorio fue construido por el arquitecto José María García de Paredes en 1987. La acústica de la sala es analizada según fue proyectada en su inauguración, sin tener en cuenta posteriores modificaciones. El trabajo trata los siguientes puntos:

- Descripción del proyecto de construcción, en el que están presentes la influencia del consultor acústico Lothar Cremer y la intervención de la empresa consultora García BBM.
- Simulación acústica con el software CATT Acoustic, abarcando un análisis geométrico de las trayectorias de rayos fuente-receptor y una evaluación de los parámetros acústicos.
- Mediciones acústicas: los resultados son comparados con los de la simulación.

## 1. PALAU DE LA MÚSICA DE VALENCIA

### 1.1 El arquitecto

José María García de Paredes nació en Sevilla en 1924 y murió en Madrid en 1990. Arquitecto por la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid (1950). Dentro de su producción, los auditorios constituyen un cuerpo propio de singular importancia. Junto con el Palau de la Música, proyectó y construyó más de una docena de grandes auditorios, destacando el Auditorio Nacional de Música (Madrid, 1988) y el Auditorio Manuel de Falla (Granada, 1978 y 1987).

### 1.2 La construcción

En 1984 el Ministerio de Cultura encargó a García de Paredes el proyecto para la construcción del Palau de la Música. La construcción dio comienzo al año siguiente, inaugurándose en 1987. El edificio se emplaza en la prolongación del Paseo de la Alameda y se asoma sobre el antiguo cauce del río Turia. En su interior el Palau alberga un conjunto instalaciones entre las que destacan dos salas de concierto superpuestas: la sala sinfónica (1794 localidades), que será objeto de nuestro estudio, y la sala de música de cámara (420 localidades).

## 2. ESTUDIO ACÚSTICO DEL AUDITORIO<sup>1</sup>

### 2.1 Descripción general de la sala: dimensionado y aforo

La sala sinfónica del Palau tenía en 1987 una capacidad de **1794 localidades**, considerando la ocupación de los bancos del coro. Su volumen es de unos **15.700 m<sup>3</sup>**, derivándose un **volumen por persona de 8,8 m<sup>3</sup>**. La sala es simétrica a lo largo de su eje longitudinal. Su geometría puede ser inscrita en un rectángulo de 47 m x 31 m de anchura, si bien con unas dimensiones que crecen orgánicamente hacia arriba, como muestran los planos de las figura 1.

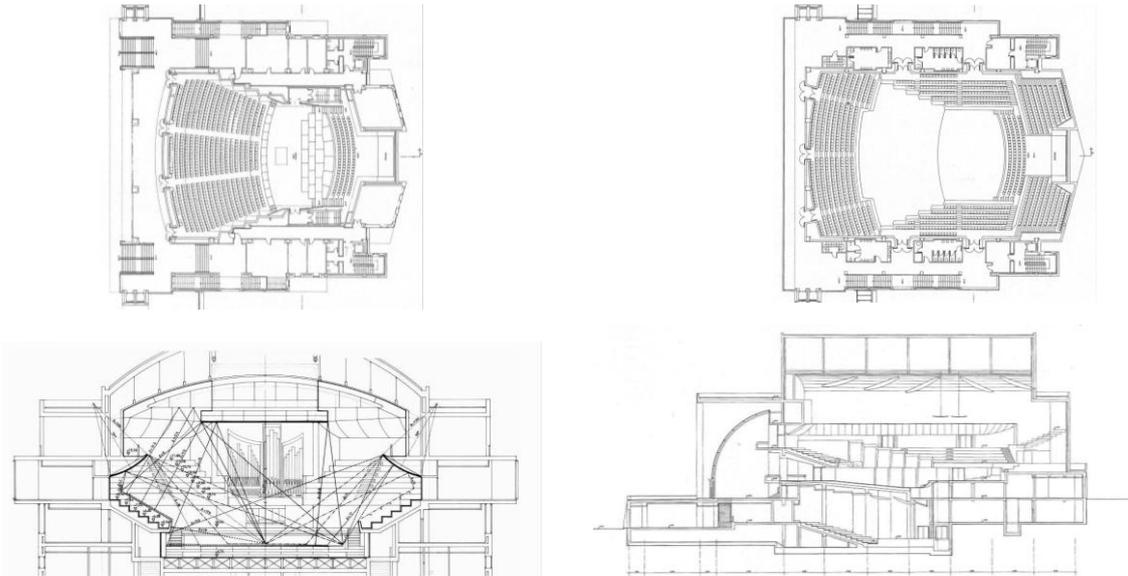


Figura 1.- Planos del Palau de la Música: cotas 2,89 y 8,33; sección transversal y sección longitudinal

La figura 2 muestra el interior de la sala. La organización del espacio responde a un cuidadoso reparto del público en las distintas zonas de audiencia:



Figura 2.- Interior de la sala sinfónica del Palau

### 2.2 El asesoramiento acústico del Palau

Para la acústica del Palau, García de Paredes contó con la colaboración de la consultora García BBM, que también intervino en el Auditorio Nacional de Madrid junto con Lothar Cremer. En Madrid el papel de García BBM se centró en la realización de mediciones acústicas en las distintas salas y medidas de la absorción de las butacas, así como en la construcción de la maqueta. En el Palau el asesoramiento de García BBM se extiende a la fase de proyecto.

No tenemos constancia de la participación directa de Lothar Cremer en el asesoramiento del Palau. Sin embargo, debemos recordar la relación del Auditorio Nacional con la Philharmonie de Berlín, ambas asesoradas por Cremer. Pero, sobre todo, debemos poner de manifiesto el paralelismo entre el Auditorio Nacional y el Palau, que se justifica en las siguientes imágenes:

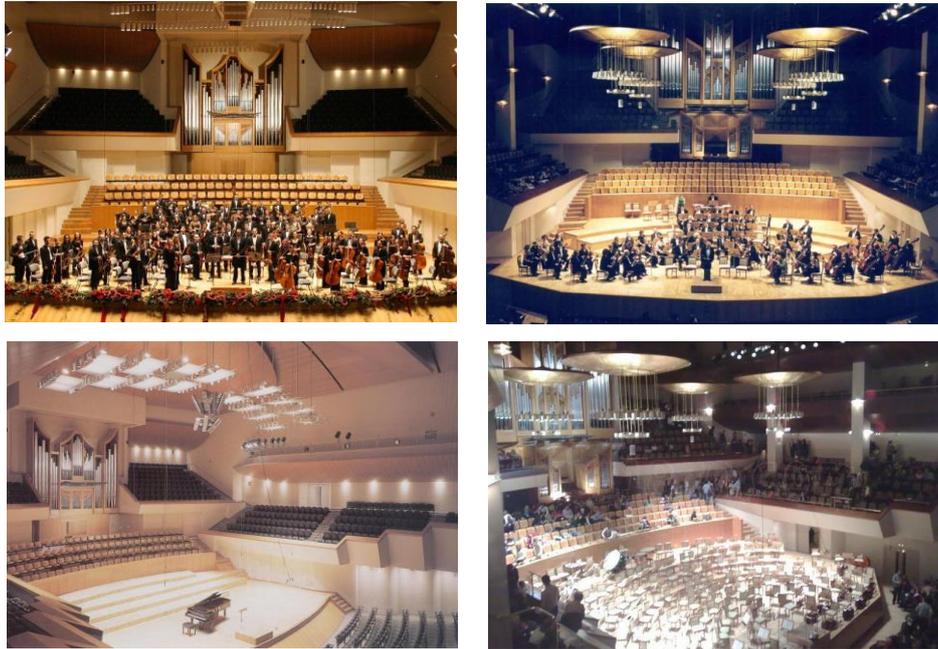


Figura 3.- Comparación entre diferentes zonas del Palau (izda) y del Auditorio Nacional (dcha)

Las diferencias más significativas entre los dos auditorios son que el Palau tiene un piso menos y un diseño diferente del techo, con una envolvente exterior cóncava y cinco paneles reflectantes convexos. Por lo demás, la similitud de diseño en el patio de butacas, los bancos del coro y todo el primer piso es extraordinaria. Ambas salas se construyeron simultáneamente. El Palau, aunque fue inaugurado un año antes, comenzó su construcción en 1985 y en ese año Lothar Cremer ya había enviado los dos informes más determinantes para el asesoramiento del Auditorio Nacional<sup>2</sup>. Por tanto, los requerimientos dados en los informes para la sala de Madrid sirvieron sin duda también para las partes comunes del Palau. Fueron los siguientes:

- Posición de los reflectores sobre el escenario para reforzar el sonido en esa zona y evitar ecos desde el techo.
- Evitar las paredes paralelas en el escenario para impedir la existencia de ecos flotantes
- Inclinación de las balaustradas de los anfiteatros, las galerías laterales y los balcones detrás de la orquesta para dar reflexiones a la audiencia del patio de butacas.
- Curvatura de los paneles del techo de las galerías laterales y de los balcones detrás de la orquesta para dar reflexiones al público de esas zonas (Fig. 1 sección transversal, ver trazada de rayos para el estudio de reflexiones en el techo de la galería lateral).
- Colocación de material difusor en las paredes traseras del patio de butacas, del primer anfiteatro y de los asientos del coro para evitar ecos en zonas lejanas.

El asesoramiento de García BBM se plasma en un informe enviado al arquitecto<sup>3</sup>. Dado que el informe recoge las recomendaciones derivadas de los resultados de las mediciones acústicas, reseñaremos estas recomendaciones en el apartado 2.5 referente a mediciones.

### 2.3 Modelización y materiales

Para la simulación se ha construido un modelo acústico (Fig. 4) partiendo de un dibujo de la sala en tres dimensiones, que nos caracteriza su geometría, usando el programa AUTOCAD y operando seguidamente con el programa CATT Acoustic. Se han obtenido un total de 1197 caras 3D y un 0,1 % de rayos escapados, lográndose así un cierre prácticamente completo del recinto. El software marca la realización de ciertas adaptaciones para el proceso de simulación:

- Los trazos curvos **de la envolvente exterior y de los paneles reflectantes del techo** se descompusieron en trazos rectos, ya que el programa no admite líneas curvas.

- El **público** ha sido modelizado por **cajas** de 80 cm de altura. Se han incluido como cajas de público algunas escaleras que separaban una zona de audiencia de una pared o dos zonas de audiencia. Así, el área de audiencia ocupa una superficie de 1039 m<sup>2</sup>.

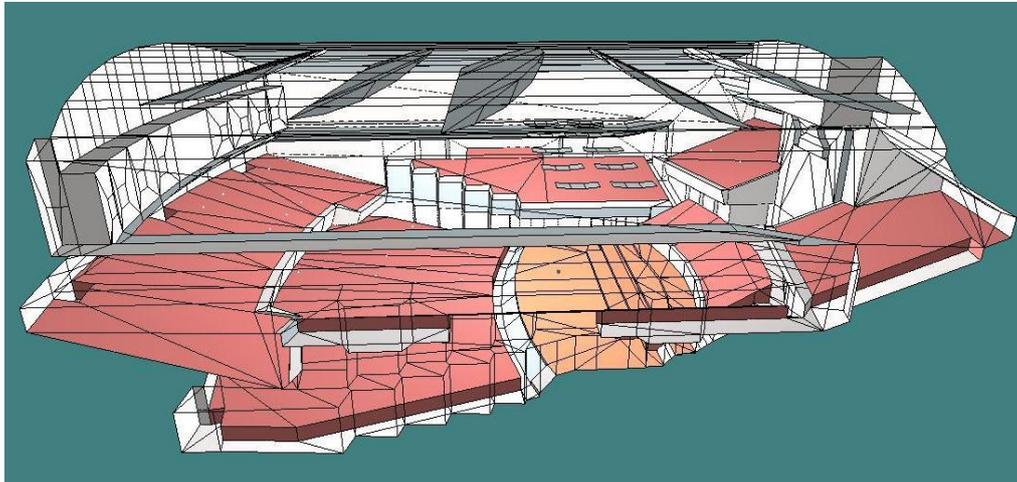


Figura 4. - Modelización de la sala

La finalidad de este auditorio fue para conciertos de música sinfónica, música de cámara y recitales, incluso para congresos. La elección de los materiales obedeció al intento de conseguir un tiempo de reverberación adecuado; según el informe de García BBM<sup>3</sup>, el tiempo de reverberación buscado fue 1,9 s para las frecuencias medias. Por la experiencia aportada en un gran número de simulaciones y debido a la complejidad de la geometría de esta sala, se ha decidido **dar a los materiales reflectantes una difusión por defecto del 18%** para todas las bandas de frecuencia. La Tabla 1 muestra los materiales con su absorción y difusión por metro cuadrado en las bandas de 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz y 4 kHz<sup>4</sup>:

MATERIALES	ABSORCIÓN	DIFUSIÓN
Madera pegada para el suelo del escenario, pasillos y apoyabrazos de antepechos	4 4 7 6 6 7	18 18 18 18 18 18
Madera pegada difusora para todas las escaleras	4 4 7 6 6 7	50 50 50 50 50 50
Madera con cámara de aire para los paneles de los techos	19 14 9 6 6 5	18 18 18 18 18 18
Madera con cámara de aire difusora para el órgano	19 14 9 6 6 5	30 40 50 60 70 70
Ladrillo macizo enfoscado para paredes y antepechos del primer anfiteatro	2 2 3 4 5 5	18 18 18 18 18 18
Acabado enfoscado con cámara de aire para los antepechos de las tribunas laterales	20 15 10 8 4 2	18 18 18 18 18 18
Vidrio para los cristales de las cabinas	2 6 3 3 2 2	18 18 18 18 18 18
Vidrio difusor para las lámparas	18 6 4 3 2 2	30 40 50 60 70 70
Zona de público: sillas Castelli (entre paréntesis absorción de las sillas vacías) <sup>5</sup>	15 34 70 74 82 65 (6 11 29 36 44 44)	30 40 50 60 70 70
Escenario con músicos (densidad de ocupación: 0,72 personas / m <sup>2</sup> )	10 21 41 65 75 71	30 40 50 60 70 70
Hierro para las puertas del escenario	2 3 3 4 2 3	18 18 18 18 18 18
Madera sobre soporte metálico para las puertas de acceso del público	2 3 3 4 2 3	18 18 18 18 18 18

Tabla 1.- Materiales con su absorción y difusión en las bandas de octava

## 2.4 Simulación acústica

Supondremos una fuente omnidireccional A0 centrada en el ancho del escenario, a 3 m del borde y 1,5 m de altura sobre el mismo, que emite un nivel de presión sonora de 90 dB a 1 m de distancia en todas las bandas de octava (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz y 4 kHz). Se han colocado 40 receptores a un lado del plano de simetría xz, distribuidos en el patio de butacas, primera planta (primer anfiteatro, tribuna lateral y tribuna detrás del escenario) y bancos del coro, como se muestra en la figura 5. Los cálculos se han realizado en sala ocupada, salvo indicación. Los datos proporcionados por la simulación los clasificaremos en dos apartados:

- Análisis geométrico: trayectorias de rayos sonoros fuente-receptor.
- Resultados de los parámetros acústicos: SPL, G, RT, BR, Br, C<sub>80</sub>, LF y RASTI

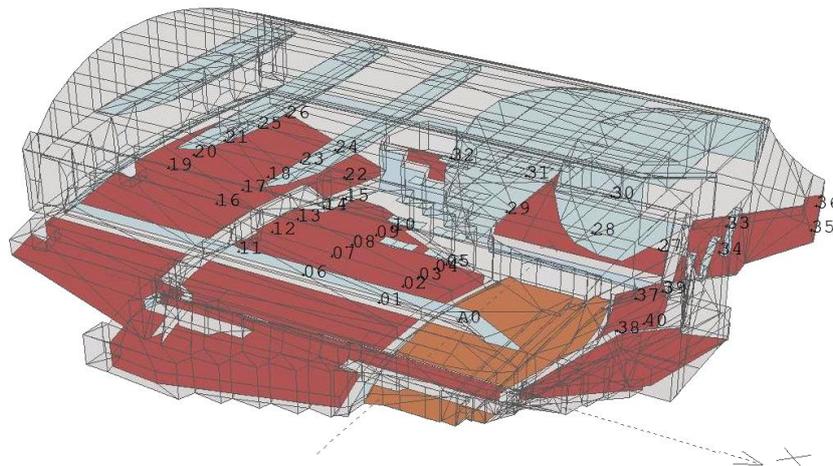


Figura 5.- Posición de fuente y receptores en el área de audiencia

#### 2.4.1 Análisis geométrico: resultados por receptor

Se han analizado las trayectorias de los rayos de emisión desde la fuente a los receptores, considerando las reflexiones de orden menor o igual que tres. Para cada receptor se ha estudiado la continuidad de las reflexiones, su procedencia, el reparto temporal y la secuencia de intensidades, asegurándonos de la ausencia de ecos; se ha examinado el cambio de los ecogramas entre receptor y receptor a lo largo de las direcciones axiales de la sala. Las conclusiones son:

- El **número de reflexiones** en las distintas partes de la sala es desigual, siendo la zona más beneficiada el patio de butacas. El resto de las zonas recibe menos reflexiones y con un reparto desigual dependiendo de receptores. En cualquier caso, el nivel sonoro SPL se sitúa en todos los receptores por encima de 69 dB en todas las bandas de frecuencia.
- En cuanto a la **proveniencia de las reflexiones**, se detecta una gran participación de las paredes y los antepechos en las reflexiones del patio de butacas, de idéntico modo que en el Auditorio Nacional, lo que evidencia el paralelismo entre estas salas. El techo, sobre todo los cinco paneles convexos, interviene en reflexiones directas captadas por todos los receptores de la zona central del primer anfiteatro, destacando también las que se reciben en la parte delantera de la tribuna lateral, tribuna trasera y patio de butacas (8 de los 15 receptores), disminuyendo su efectividad en los bancos del coro y en el lateral del primer anfiteatro. Los paneles curvos de los techos de las tribunas laterales, primer anfiteatro y tribunas traseras participan, solos o en colaboración sobre todo con las paredes, en las reflexiones en las localidades situadas en esas zonas, cumpliendo allí su cometido. No obstante, hay que resaltar que los receptores situados detrás en la tribuna lateral (30, 31 y 32) no reciben reflexiones de primer orden, que seguramente sí habrían recibido dando una inclinación a estos paneles 6º mayor, como estaba inicialmente previsto en los planos.
- Las **lámparas** tienen escasa participación debido a su pequeño tamaño. No se han detectado reflexiones directas provenientes de ellas y han sido muy escasas las reflexiones en combinación con otras superficies en zonas próximas al escenario, como las primeras filas del patio de butacas, las tribunas laterales o los bancos del coro. Teniendo en cuenta la altura del techo, podría haber desfases superiores a 27 m entre el camino recorrido por el sonido directo y el sonido reflejado sobre el escenario.
- Se detecta un **posible eco en el receptor 35 de la tribuna trasera** por la captación de ocho reflexiones de segundo y tercer orden procedentes de la pared y cristal de las cabinas, del segundo panel del techo y de las paredes trasera y lateral de la propia tribuna (Fig.6).

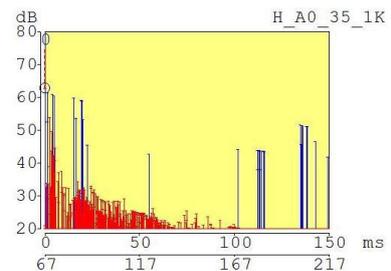


Figura 6.- Ecograma del rec 35

## 2.4.2 Resultados de los parámetros acústicos

- *Nivel de presión sonora SPL y Fuerza sonora G*

El valor promedio del nivel de presión sonora SPL para los receptores supera los 72 dB en todas las frecuencias. Los valores SPL resultan diferentes según la zona del auditorio que tratemos, siendo más elevados en el patio de butacas, bancos de coro y tribunas laterales del primer piso. Las tribunas traseras y, sobre todo, el primer anfiteatro registran los valores más bajos que, en cualquier caso, están **por encima de los 69 dB para todas las bandas de frecuencia** en los receptores de esas zonas. Esto es un buen resultado que garantiza un reparto satisfactorio del sonido en toda la sala.

El promedio de la fuerza sonora G en sala vacía para los receptores en las frecuencias medias es  $G_{mid} = 7,4 \text{ dB}$ , situándose por encima de lo recomendado por la bibliografía<sup>6</sup>.

- *Tiempo de reverberación RT*

La figura 7 muestra tabla y gráficas de los distintos valores del tiempo de reverberación, unos obtenidos mediante su fórmula (Sabine y Eyring), otros calculados a partir de la geometría de la sala con sus superficies de revestimiento, como los del T-15 y T-30.

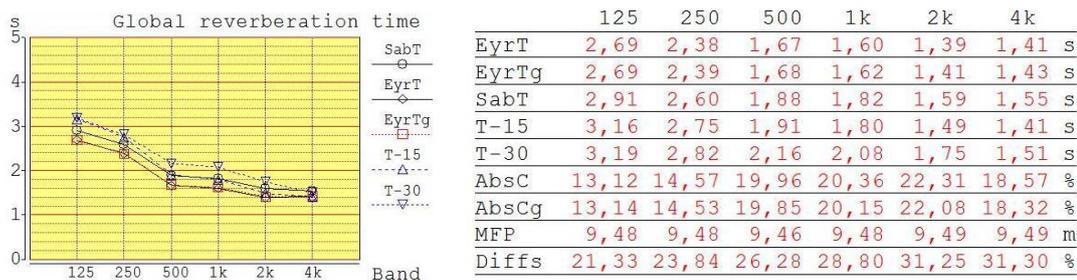


Figura 7.- Tabla y gráficas de los valores calculados del Tiempo de Reverberación

Los resultados muestran una buena correspondencia entre todos los valores calculados del tiempo de reverberación para todas las frecuencias, que se traduce en una similar fluctuación en el paso de una banda de frecuencia a la contigua, lo que se ha conseguido aplicando los mencionados coeficientes de difusión por defecto. Tomando la estimación del descriptor T-30 se obtiene  $RT_{mid} = 2,12 \text{ s}$ . Este tiempo posibilita el uso de la sala para música sinfónica, si bien es más elevado que los registrados en la mayoría de las grandes salas de concierto de renombre mundial. Para el uso de la palabra en congresos, este tiempo de reverberación resultaría elevado. Los valores de Bass Ratio  $BR = 1,42$  y brillo  $Br = 0,77$  dan cuenta de una alta respuesta de la sala en graves y algo baja en agudos.

Asimismo se ha realizado un estudio del tiempo de reverberación a sala vacía, considerando la absorción de las butacas sin público y el escenario sin músicos. Utilizando el descriptor T-30, se obtiene  $RT_{mid} = 3,31 \text{ s}$ , valor muy superior al recomendado para la música sinfónica, lo que repercutiría negativamente en los ensayos de la orquesta. Ello se debe a la fuerte diferencia de absorción que presentan las butacas ocupadas y vacías.

- *Claridad musical  $C_{80}$*

El valor promedio de la claridad musical  $C_{80}$  en las bandas de 500 Hz, 1 kHz y 2 kHz para los 52 receptores es  $C_{80}(3) = 3,5 \text{ dB}$ , algo más elevado de lo recomendado por la bibliografía<sup>6</sup> para una sala de uso musical. Para la sala vacía se obtendría un promedio  $C_{80}(3) = -0,5 \text{ dB}$ , que estaría dentro del margen recomendado. La drástica disminución del valor de la claridad musical  $C_{80}(3)$  entre la sala llena y vacía está relacionada con el excesivo aumento del tiempo de reverberación entre ambas situaciones.

- *Fracción de energía lateral LF*

El valor porcentual medio en sala vacía de la fracción de energía lateral LF en las bandas de 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz y 1 kHz es **LF(4) = 22,4**, lo que daría en general una muy buena impresión espacial en la sala. Sin embargo, hay que destacar la irregularidad de los valores obtenidos en los ecogramas para los receptores, incluso estando contiguos.

- *RASTI*

El RASTI iguala o supera el valor porcentual de 50 en todos los receptores, **siendo el valor medio de 58**. Estos resultados dan a la sala una categoría de “aceptable” en cuanto a la inteligibilidad de la palabra. Se trata de un resultado sorprendente al obtenerse en una sala con un tiempo de reverberación de 2,12 s que se ajusta a recintos destinados a música sinfónica. Así, la sala podría ser usada también para conferencias y congresos, y nos invita a revisar si valores aceptables de RASTI pueden ser compatibles con valores elevados del tiempo de reverberación.

## 2.5 Mediciones acústicas

La consultora García BBM realizó mediciones en sala llena y en sala vacía el año de la inauguración del auditorio. El órgano aún no estaba instalado. Las mediciones se redujeron a la obtención del tiempo de reverberación, de los ecogramas asociados a las posiciones de recepción y de las curvas NC para caracterizar el nivel de ruido de fondo de la sala. En base al informe emitido por la consultora<sup>3</sup>, explicaremos el proceso de medición, los resultados obtenidos y las recomendaciones dadas al arquitecto.

Las mediciones en sala vacía fueron realizadas mediante la explosión de petardos, lo que permitió obtener los valores del tiempo de reverberación y los ecogramas. Se consideraron nueve posiciones de medida distribuidas en el patio de butacas (cuatro), primer anfiteatro (dos), anfiteatro lateral (dos), y tribuna trasera (una). Los registros se procesaron con un analizador de señal (HP), un ordenador HP 9816 y una impresora. El tiempo de reverberación en sala llena se midió a partir del registro del concierto inaugural con un aparato Sony PCM F1 y un registrador de vídeo Sony. La medida se obtuvo “a partir de los acordes presentes...”<sup>3</sup> en la versión de concierto de la ópera “La vida breve” de Falla. Posteriormente se realizaron otras mediciones del tiempo de reverberación a partir de otras tres actuaciones de distintas orquestas. Los valores obtenidos en las bandas desde 63 Hz hasta 8 kHz fueron los siguientes:

FRECUENCIA / Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
RT / s Sala llena	1,95	2,15	2,39	2,23	2,08	1,92	1,75	1,33
RT / s Sala vacía con butacas	2,65	3,10	3,66	3,28	3,00	2,67	2,15	1,50

Tabla 2.- Tiempos de reverberación medidos en las bandas de octava

El tiempo de reverberación en sala llena, obtenido como media de los cuatro conciertos, fue para las frecuencias medias  $RT_{mid} = 2,16$  s, elevado pero dentro de lo requerido para música sinfónica. En la sala vacía se obtuvo  $RT_{mid} = 3,14$  s, valor excesivo para ser utilizada como sala de ensayos. García BBM achacó este problema a la baja absorción de las butacas sin ocupar. Como solución propuso introducir un sistema de acústica variable mediante la instalación de cortinas absorbentes, que permitieran reducir el tiempo de reverberación a valores similares a los obtenidos en sala llena. En la década de los noventa la consultora instaló un sistema de acústica variable consistente en paneles verticales que ocultan y exponen material absorbente, lo que permitió variar el tiempo de reverberación. Actualmente, tras la reforma emprendida en 2002, el Palau cuenta con nuevas butacas de la marca Figueras modelo 5067 Minispace<sup>1</sup>. Cabe destacar que en las frecuencias medias los valores medidos son muy próximos a los calculados en las simulaciones (sala llena  $RT_{mid} = 2,12$  s; sala vacía  $RT_{mid} = 3,31$  s), con diferencias inferiores a 1 jnd (“just noticeable difference”)<sup>7</sup>. Las diferencias entre valores

medidos y simulados para los agudos están en torno a 1 jnd en sala llena y son inferiores a 1 jnd en sala vacía. En los graves las diferencias superan 1 jnd, lo que se explica por los bajos valores de absorción de las sillas introducidos en la simulación, especialmente en 125 Hz.

Según García BBM, los ecogramas muestran que tras el sonido directo *“llegan un grupo importante de reflexiones cortas con notable amplitud sumándose las primeras al sonido directo reforzándolo..., facilitando la claridad de la sala que contrasta con el tiempo de reverberación tan alto medido con la sala vacía”*<sup>3</sup>.

Respecto al ruido de fondo, García BBM señala que *“el nivel de ruido de fondo generado por el aire acondicionado en la sala vacía equivale a una curva NC-22, lo que se considera óptimo”*<sup>3</sup>.

## CONCLUSIONES

1.- El análisis de los ecogramas muestra que el número de reflexiones en las distintas partes de la sala es desigual, siendo la zona más beneficiada el patio de butacas merced al elevado número de reflexiones provenientes de las paredes y los antepechos de los balcones; este resultado se producía también en el Auditorio Nacional y reafirma el paralelismo en el diseño de ambas salas. El techo, sobre todo los paneles orientados longitudinalmente, tiene una participación notoria en las reflexiones de la zona central del primer anfiteatro, en los receptores delanteros de la tribuna lateral y en la tribuna trasera. Los techos en paneles de las tribunas laterales, primer anfiteatro y tribunas traseras participan, solos o en colaboración con las paredes, en las reflexiones en las localidades de esas zonas; no obstante, se habría podido mejorar su rendimiento en el interior de las tribunas laterales si se hubiera dado la inclinación inicialmente prevista a esos paneles. Las lámparas tienen poca participación, seguramente por su pequeño tamaño, no habiéndose detectado reflexiones directas provenientes de ellas sobre los receptores. Se detecta un posible eco en el receptor 35 de la tribuna trasera.

2.- Se ha simulado la sala con el programa CATT Acoustic. Los resultados son:

PARÁMETRO ACÚSTICO	VALOR DE SIMULACIÓN
Nivel de presión sonora SPL	<b>&gt; 69 dB, salvo en las zonas ya señaladas</b>
Sonoridad $G_{mid}$	<b>7,4 dB (sala vacía)</b>
Tiempo de reverberación $RT_{mid}$	<b>2,12 s</b>
Calidez acústica BR	<b>1,42</b>
Brillo Br	<b>0,77</b>
Claridad musical $C_{80}(3)$	<b>3,5 dB</b>
Fracción de energía lateral LF (4)	<b>22,4 (sala vacía)</b>
RASTI	<b>58</b>

3.- Se ha obtenido un acuerdo muy satisfactorio entre los valores simulados y medidos del tiempo de reverberación, lo que refuerza la fiabilidad de las simulaciones realizadas.

<sup>1</sup> Vallejo Ortega, G. La obra acústica del arquitecto García de Paredes. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid, 2011. El presente estudio acústico considera la concepción original de la sala por el arquitecto, no modificaciones posteriores.

<sup>2</sup> Cremer, L y Fütterer, T. Reports (acoustic advice for The National Auditorium of Madrid), 1982 y 1985. Trabajo inédito. Agradecemos al estudio de arquitectura Paredes-Pedrosa su colaboración por la aportación de este material.

<sup>3</sup> García Sanchemés, A y Mestre Sancho, V. Informe sobre asesoramiento acústico y mediciones realizadas en el Palau de la Música de Valencia, 1987. Trabajo inédito. Agradecemos al estudio Paredes-Pedrosa su aportación.

<sup>4</sup> Para la propuesta de absorción y difusión de los materiales se han consultado estas fuentes:

- CATT-Acoustic v8.0 *User's Manual*, SPECTRA D'Sign Kopiering AB, Gothenburg, 2002.

- Beranek, L. Concert & Opera Halls. How they sound, A.S.A., New York, 1996.

- Mediciones de absorción de diferentes sillas a cargo de la consultora acústica García BBM. Material inédito. Agradecemos a Vicente Mestre (García BBM) el suministro de este material.

<sup>5</sup> García BBM midió la absorción por silla (ocupada: < 8 18 37 39 43 34 >, vacía: < 3 6 15 19 23 23 >)

Para deducir la absorción por metro cuadrado se ha considerado que la densidad de ocupación es de 1,9 personas/m<sup>2</sup>.

<sup>6</sup> Entre otros autores, cabe citar:

- Barron, M. Auditorium Acoustics and Architectural design. E & FN Spon. Londres, 1993.

- Carrión Isbert, A. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona (España), 1998.

<sup>7</sup> Cox, T.J. et al., "The sensitivity of listeners to early sound field changes in auditoria", *Acustica*, 79, 1993, 27-41