

## LA SALA JUAN DE VILLANUEVA DEL MUSEO DEL PRADO: UNA RESTAURACIÓN CONCEBIDA DESDE EL DISEÑO ACÚSTICO

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 paper presents the findings of the acoustic study of the Juan de Villanueva Hall (Madrid Prado Museum, Spain). This hall was restored by the architect José María García de Paredes in 1983. The paper is developed in two parts:

- Description of the restoration project, in which the acoustic consultant Lothar Cremer's influence is present.
- Exposure of acoustic simulation results by computer: sound rays trajectories from the source to the receivers are analysed and acoustic parameters that define its sound quality have been evaluated.

### RESUMEN

Este trabajo presenta las conclusiones del estudio acústico de la Sala Juan de Villanueva del Museo del Prado en Madrid (España). Esta sala fue restaurada por el arquitecto José María García de Paredes en 1983. El trabajo se desarrolla en dos partes:

- Descripción del proyecto de restauración, en el que está presente la influencia del consultor acústico Lothar Cremer.
- Exposición de los resultados de la simulación acústica por ordenador, que abarca un análisis de las trayectorias de rayos sonoros fuente-receptor y una evaluación de los parámetros que definen su calidad acústica.

## 1. UNA RESTAURACIÓN PARA LA MÚSICA EN EL MUSEO DEL PRADO<sup>1</sup>

### 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), obtiene el Premio Nacional de Arquitectura en 1956. Dentro de la producción de García de Paredes los auditorios constituyen un cuerpo propio de singular importancia ya que proyectó y construyó más de una docena de grandes auditorios, destacando el Auditorio Nacional de Música (Madrid, 1988).

### 1.2 La restauración

Antes de la reforma llevada a cabo por el arquitecto Rafael Moneo en 2007, García de Paredes emprendió una obra de restauración en el Museo del Prado entre 1981-1983 destinada para que el museo albergara entre sus instalaciones una sala de conciertos. El emplazamiento de la sala se situaba en la parte inferior a eje del gran pórtico dórico de acceso al museo desde el Paseo del Prado. Esta situación fue ya intuida por el arquitecto Juan de Villanueva en el primer proyecto para el museo (1785), donde señaló este espacio como "Salón de Juntas". García de Paredes se propuso una actuación respetando el espíritu neoclásico del edificio sin dejar de ser fiel a la época en que la intervención se realiza, destacando aportaciones de diseño concebidas para optimizar la calidad acústica. La Sala Juan de Villanueva no existe en la actualidad. Su uso se concibió para conferencias y conciertos de música de cámara (figura 1).



Figura 1.- Sala Juan de Villanueva del Museo del Prado tras la intervención de García de Paredes

## 2. ESTUDIO ACÚSTICO

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

La planta de la sala era en forma de "U", quedando inscrita en un rectángulo con unas dimensiones de 26 m × 15 m (figura 2). La altura de techos oscilaba entre los 6,35 m hasta los 8,80 m desde el patio de butacas.

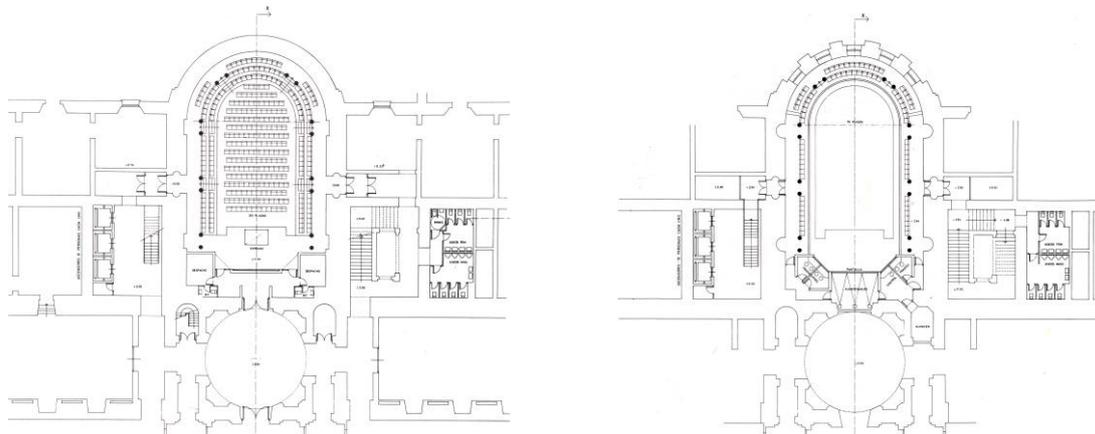


Figura 2.- Planos de planta. Cota 0.00 (izda) y 2.54 (dcha)

La capacidad era de 400 localidades. El volumen era de unos **2.300 m<sup>3</sup>**, derivándose un volumen por persona de 5,75 m<sup>3</sup>. La superficie de la planta se situaba en torno a **320 m<sup>2</sup>**. El escenario ocupaba una superficie de 38 m<sup>2</sup>. La sala tenía dos plantas:

- Planta baja: situada en cota 0.00, desde ella se accedía al patio de butacas (cota -1.26) y a los asientos que lo rodeaban, en dos filas desde el escenario y en tres filas en el ábside.
- Planta superior: constaba de una galería perimetral en la cota 2.54, con asientos en una fila, salvo en el ábside que se disponían en dos filas.

### 2.2 Elementos que intervienen en el diseño acústico

La información sobre la planificación acústica viene resumida en uno de los planos del arquitecto titulado "Estudio acústico de sala"<sup>2</sup>, que contiene los planos en sección que se muestran en la figura 3. En ellos hay que destacar el diseño del techo, que "se modela científicamente de acuerdo con los más recientes conocimientos de la acústica"<sup>3</sup> y constituye la mayor aportación del arquitecto a la acústica de la sala.

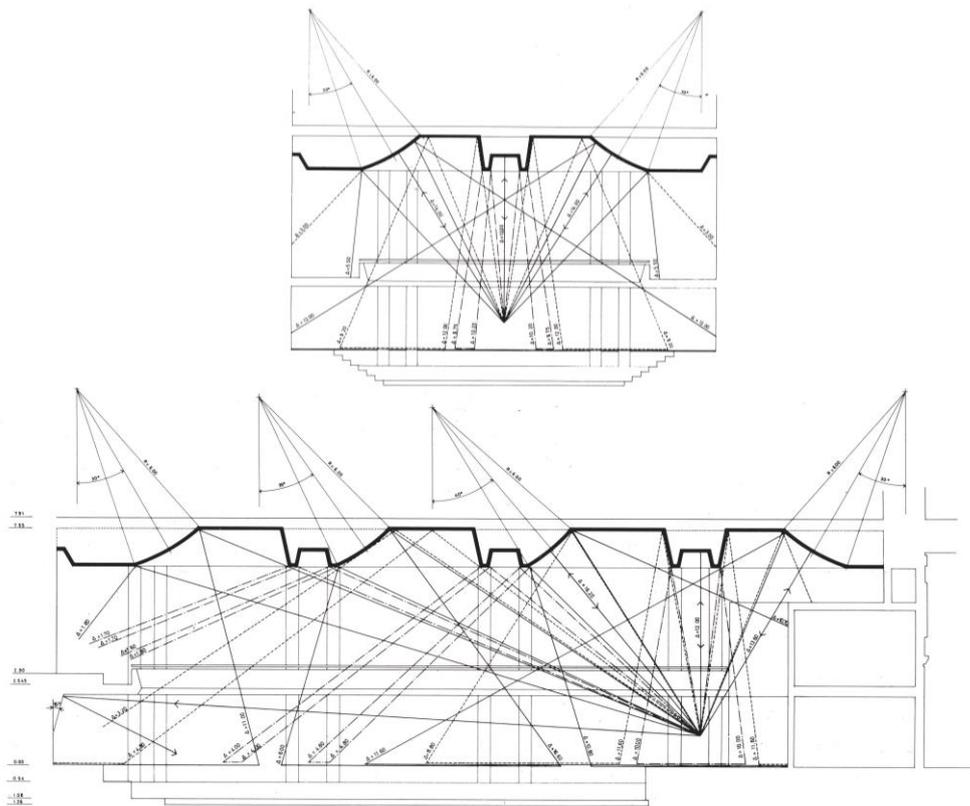


Figura 3.- Secciones longitudinal y transversal: trazado de primeras reflexiones producidas por el techo

En estos planos se puede observar el estudio que realiza el arquitecto de la inclinación de las secciones convexas (ángulos de las bisectrices de los arcos con la vertical de 30°, 35° y 40°), sus radios, así como el trazado de rayos sonoros para analizar el alcance de las primeras reflexiones producidas por las secciones del techo. En cada trazado, calcula la diferencia de camino recorrido entre la primera reflexión y el sonido directo con el fin de comprobar la ausencia de ecos. Aquí **García de Paredes** retoma el procedimiento de trabajo empleado para el Auditorio Manuel de Falla en el Proyecto de 1978 y que se deriva del asesoramiento de **Lothar Cremer** para aquella sala. Respecto al trazado de rayos merece la pena destacar:

- **Extensión de las reflexiones:** como podemos observar en la **sección longitudinal** de la figura 3, los dos paneles que se encuentran sobre el escenario garantizan reflexiones sobre el mismo, mientras que el patio de butacas y las zonas frontales del ábside en ambas plantas son sucesivamente “barridas” por las reflexiones, salvo una pequeña distancia (unos 70 cm correspondientes a la fila 12 del patio de butacas). En la **sección transversal** se puede ver cómo las reflexiones provenientes del techo abarcan el patio de butacas, el público perimetral de la planta inferior y el situado en la galería superior.
- El incremento máximo de camino recorrido entre primera reflexión y sonido directo es 16,6 m, no superando los 17 m y evitando así la existencia de **eco** en primera reflexión.
- En la sección longitudinal se observa cómo se ha evitado un **eco de rincón** sobre el escenario mediante el diseño de un panel inclinado 15° respecto a la vertical en la zona del extremo del ábside.

El plano “Estudio acústico de sala” contiene además una tabla con cálculos previos del tiempo de reverberación (figura 4), que da cuenta de los materiales empleados, la superficie que ocupan y la absorción total de los mismos. Siguiendo la línea marcada por Lothar Cremer en el

Auditorio Manuel de Falla, García de Paredes parte de la fórmula de Sabine y plantea el cálculo del tiempo de reverberación para tres situaciones: sala ocupada, sala vacía amueblada con las sillas y sala vacía sin amueblar. Cabe destacar cómo en aquellos años se seguía trabajando para el público y los músicos con absorción por persona y no por metro cuadrado.

SALA CON PÚBLICO								SALA AMUEBLADA								SALA VACÍA							
FRECUENCIA	HERTZ	125	250	500	1000	2000	4000	HERTZ	125	250	500	1000	2000	4000	HERTZ	125	250	500	1000	2000	4000		
A <sub>1</sub>	VOLUMEN DE AIRE	2.300 M <sup>3</sup>	—	—	—	7	16	46	2.300 M <sup>3</sup>	—	—	—	7	16	46	2.300 M <sup>3</sup>	—	—	—	7	16	46	
A <sub>2</sub>	Nº (575 M <sup>3</sup> /P)	400 P	60	140	160	180	180	160	400 BM	40	40	60	60	80	80	0 P	—	—	—	—	—	—	
A <sub>3</sub>	MÚSICOS CON INSTR.	5 P	2	4	5	7	6	5	0 P	—	—	—	—	—	—	0 P	—	—	—	—	—	—	
A <sub>4</sub>	SUPERFICIE GRES PAVIM.	450 M <sup>2</sup>	9	9	9	13	18	18	450 M <sup>2</sup>	9	9	9	13	18	18	450 M <sup>2</sup>	9	9	9	13	18	18	
A <sub>5</sub>	SUPERFICIE PIEDRA	200 M <sup>2</sup>	4	4	4	6	8	8	200 M <sup>2</sup>	4	4	4	6	8	8	200 M <sup>2</sup>	4	4	4	6	8	8	
A <sub>6</sub>	SUPERFICIE GUARNECIDOS	890 M <sup>2</sup>	27	27	18	27	36	44	890 M <sup>2</sup>	27	27	18	27	36	44	890 M <sup>2</sup>	27	27	18	27	36	44	
A <sub>7</sub>	SUPERFICIE CRISTAL	30 M <sup>2</sup>	3	2	1	1	—	—	30 M <sup>2</sup>	3	2	1	1	—	—	30 M <sup>2</sup>	3	2	1	1	—	—	
A <sub>8</sub>	SUPERFICIE CORTINAS	25 M <sup>2</sup>	1	2	4	5	6	8	25 M <sup>2</sup>	1	2	4	5	6	8	0 M <sup>2</sup>	—	—	—	—	—	—	
A <sub>9</sub>	SUPERFICIE PANTALLA	12 M <sup>2</sup>	—	1	2	2	3	4	12 M <sup>2</sup>	—	1	2	2	3	4	12 M <sup>2</sup>	—	1	2	2	3	4	
A <sub>10</sub>	SUPERFICIE MADERA	36 M <sup>2</sup>	11	7	5	4	4	2	36 M <sup>2</sup>	11	7	5	4	4	2	36 M <sup>2</sup>	11	7	5	4	4	2	
A <sub>11</sub>	SUPERFICIE REJILLAS A.C.	8 M <sup>2</sup>	4,8	4,0	3,4	2,6	2,1	1,6	8 M <sup>2</sup>	4,8	4,0	3,4	2,6	2,1	1,6	8 M <sup>2</sup>	4,8	4,0	3,4	2,6	2,1	1,6	
ΣA			165	236	242	278	298	311		143	132	137	151	192	226		102	90	73	86	106	138	
T	$T = 0,163 \frac{V}{\Sigma A}$	SEGUNDOS	2,25	1,6	1,55	1,35	1,25	1,2	SEGUNDOS	2,6	2,85	2,75	2,5	1,95	1,65	SEGUNDOS	3,7	4,15	5,15	4,35	3,55	2,7	

NOTA: SE REALIZARA MEDICION DE LOS TIEMPOS DE REVERBERACION ENTRE LAS FRECUENCIAS ESTUDIADAS Y EN CADA UNA DE LAS TRES SITUACIONES DE LA SALA, PARA EVENTUALES CORRECCIONES.

Figura 4.- Tabla elaborada por García de Paredes para el cálculo del tiempo de reverberación

Resulta interesante cómo García de Paredes adopta una posición de equilibrio en la búsqueda del tiempo de reverberación de 1,45 s en la banda de frecuencias medias para la sala llena. Una cita del arquitecto aclara su opinión: “Una solución de compromiso representa el nuevo Festspielhaus de Salzburgo, con 1,45 s para frecuencias medias, en el que cabe todo el repertorio”<sup>4</sup>. Una coincidencia no casual para esta sala que pretendía combinar el uso para conferencias con el de conciertos de música de cámara. Aunque el arquitecto contempló realizar medición de los tiempos de reverberación, no hemos podido tener acceso a las mismas<sup>5</sup>.

Otro elemento a destacar es la **disposición de las localidades respecto al escenario** buscando una buena visibilidad desde cualquier parte de la audiencia. En el patio de butacas, donde no se establece diferencia de altura entre una fila y su inmediata de atrás, los asientos son colocados al tresbolillo (figuras 1 y 2), de manera que la visión del espectador hacia la escena no es interceptada por otro situado en la fila inmediata delantera. En el **escenario** se observan paredes laterales paralelas que podrían dar lugar a ecos flotantes, no obstante se entiende que forman parte de la concepción original de la sala.

La sala cuenta con ocho pares de columnas perimetrales, alrededor de cada uno de los cuales hay racimos de **7 lámparas** en cada planta (figura 1). No se detecta, a diferencia de otras salas del arquitecto, que estas lámparas tengan una función acústica predeterminada.

De cara al aislamiento acústico, se ha cuidado que los ruidos internos del edificio no penetren en la sala mediante sistemas de dobles **puertas con “esclusas” acústicas**. La sala cuenta asimismo con instalación de **aire acondicionado**.

### 2.3.- Modelización y materiales

Para la simulación se ha construido un modelo acústico (figura 5) 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 1196 caras 3D y un 0% de rayos escapados, lográndose así un cierre completo del recinto. El software marca la realización de algunas adaptaciones para el proceso de simulación:

- Los trazos curvos de la **planta del ábside**, de la **sección del techo** y de las **columnas** se descompusieron en trazos rectos, ya que el programa no admite líneas curvas.
- El **público** ha sido modelizado con **cajas** en torno a 80 cm de altura. Se han incluido como cajas de público algunas escaleras que separan dos zonas de audiencia. De este modo, el área de audiencia ocupa una superficie de 297 m<sup>2</sup>.

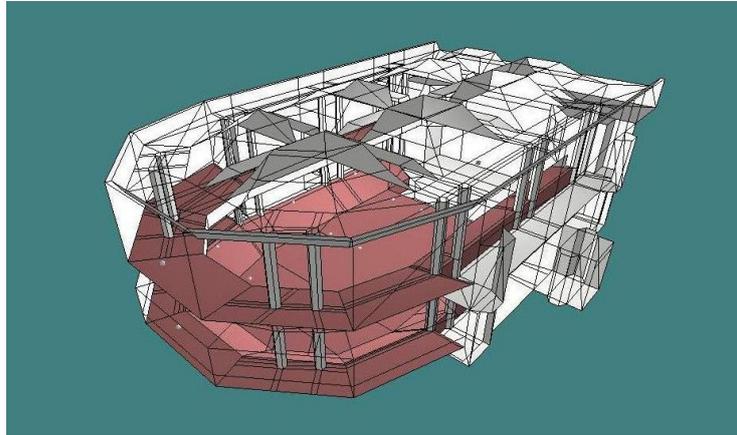


Figura 5.- Modelización de la sala

Para la propuesta de materiales y absorciones que daremos en la simulación, nos atendremos a la información disponible en el plano “Estudio acústico de sala” y en la bibliografía<sup>67</sup>, si bien con las siguientes aclaraciones:

- Las **columnas** se consideran difusoras, ya que se han modelizado con base hexagonal en vez de circular y están rodeadas por lámparas. Las **lámparas** no son modelizadas.
- Las absorciones propuestas para las **rejillas** del aire son: <600 500 425 325 263 200>, algo imposible de asumir desde nuestro criterio por excesivamente elevadas. En su lugar, tomaremos la propuesta que Cremer hace para las rejillas del aire de la sala de ensayos del coro del Auditorio Nacional, que son: <120 100 100 100 100 100><sup>89</sup>, para el área de 8 m<sup>2</sup>, que ocupan las rejillas en la Sala Juan de Villanueva, da una absorción total en Sabinos: <9,6 8 8 8 8 8>. Sin embargo, dado que el software no trabaja con absorciones por metro cuadrado iguales o superiores a 100, se repartirá la absorción total entre la superficie de techo periférica en donde se encuentran las rejillas, dividiendo el valor en cada banda de frecuencia entre el área de la superficie total de la zona (46,5 m<sup>2</sup>), quedando estas superficies más absorbentes y con difusión.
- Para proponer la absorción por metro cuadrado en la zona de audiencia ocupada y vacía se parte de los valores totales de absorción de las sillas dados por el arquitecto a cada frecuencia dividiéndolos por el aforo de la sala (400 personas) y multiplicándolos por la densidad de ocupación (1,9 personas/m<sup>2</sup>). El **escenario** se considerará vacío, pensando que tan sólo puede haber un conferenciante o un músico solista.
- Por la experiencia aportada en un gran número de simulaciones y por la complejidad derivada de la geometría de la 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 en las bandas de frecuencia de 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz y 4 kHz:

MATERIALES	ABSORCIÓN	DIFUSIÓN
Piedra para el frente de la galería superior y paramentos verticales del estrado	2 2 2 3 4 4	18 18 18 18 18 18
Piedra difusora para las columnas	2 2 2 3 4 4	30 40 50 60 70 70
Gres para los pavimentos	2 2 2 3 4 4	18 18 18 18 18 18
Guarnecidos para el techo, paredes laterales y paredes del ábside	3 3 2 3 4 5	18 18 18 18 18 18
Guarnecidos difusores para los casetones con cámaras de TV	3 3 2 3 4 5	30 40 50 60 70 70
Guarnecidos absorbentes para las superficies periféricas del techo donde están las rejillas de aire acondicionado	21 17 17 17 17 17	30 40 50 60 70 70
Vidrio para las cabinas	10 7 3 3 2 2	18 18 18 18 18 18
Textil plastificado para la pantalla de proyecciones	5 8 16 16 25 33	18 18 18 18 18 18
Madera para las puertas de entrada de público y del escenario	31 19 14 11 11 6	18 18 18 18 18 18
Zona de público (entre paréntesis absorción con sillas vacías)	29 67 76 86 86 76 (19 19 29 29 38 38)	30 40 50 60 70 70

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 2 m del borde y 1,5 m de altura sobre el mismo, que emite un nivel de presión sonora de 90 dB a 1m de distancia en todas las bandas de octava (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz y 4 kHz). Se han colocado 12 receptores a un lado del plano de simetría yz, distribuidos en el patio de butacas y asientos que lo circundan de la planta inferior y en la galería perimetral de la planta superior, como podemos ver en la figura 6. Los cálculos se han realizado en sala ocupada, salvo indicación.

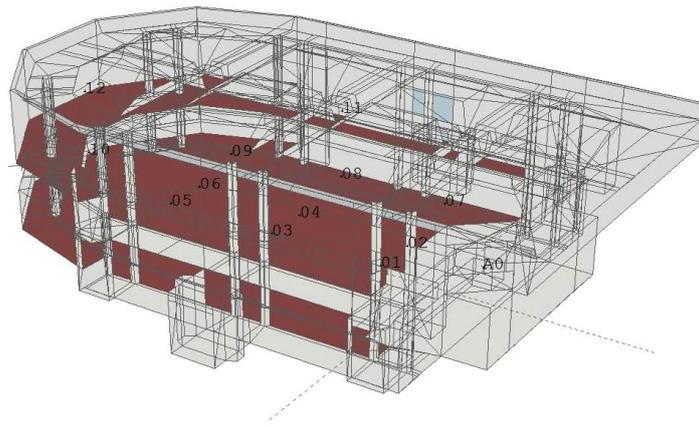


Figura 6.- Posición de fuente y receptores en el área de audiencia

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

### 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 (ecograma). Se ha estudiado para cada receptor la continuidad de las reflexiones, su procedencia, el reparto temporal y la secuencia de intensidades, asegurándonos de la no existencia de ecos. Se ha examinado cómo cambia el ecograma entre receptor y receptor a lo largo de las direcciones axiales del auditorio. Las conclusiones son:

- Todas las zonas de la sala se benefician de un número elevado de reflexiones. El nivel SPL de los receptores se sitúa por encima de 74 dB en todas las bandas de frecuencia.
- Cabe destacar el contraste entre los receptores localizados más próximos al eje longitudinal de la sala [patio de butacas (1-6), 10 y 12], que reciben muchas más reflexiones tempranas anteriores a los primeros 50 ms, con los receptores más periféricos (7, 8, 9, 11) y alejados de este eje, que captan un número más repartido de reflexiones en todos los intervalos temporales (comparar ecogramas en figura 7).

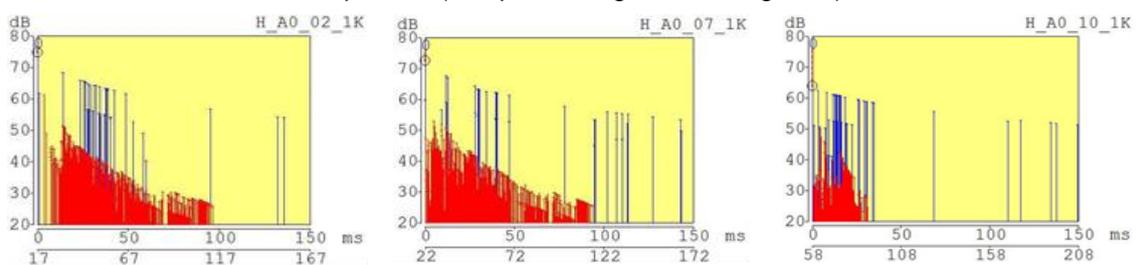


Figura 7.- Ecogramas de los receptores 2, 7 y 10

- Caracterizamos el papel en las reflexiones de las superficies más importantes:
  - El techo cumple eficazmente la función para la que se ha diseñado, dando reflexiones tempranas a toda la sala (anteriores a 50 ms), directas o junto a otras superficies.
  - La pared trasera del estrado da reflexiones anteriores a los 20 ms a todos los receptores, reforzando así la labor del sonido directo.
  - Las paredes laterales toman protagonismo sobre todo en las reflexiones de orden 2 y 3 sobre todos los receptores, por sí solas o con otras superficies, así como en reflexiones tempranas sobre los receptores dispuestos perimetralmente.
- No se ha detectado la presencia de ecos en ninguno de los receptores estudiados.

#### 2.4.2 Resultados de los parámetros acústicos

- *Nivel de Presión Sonora SPL y Fuerza Sonora G*: los niveles de presión sonora SPL en sala ocupada son muy satisfactorios, con valores que superan los 74 dB en todas las bandas de frecuencia y en todos los puntos de la zona de audiencia. El promedio de la fuerza sonora G en sala vacía para los receptores en las frecuencias medias es  $G_{mid} = 13,8 \text{ dB}$ , situándose por encima de lo recomendado por la bibliografía<sup>10</sup>. El resultado es favorecido por el tamaño relativamente pequeño de la sala.
- *Tiempo de reverberación RT*: la figura 8 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.

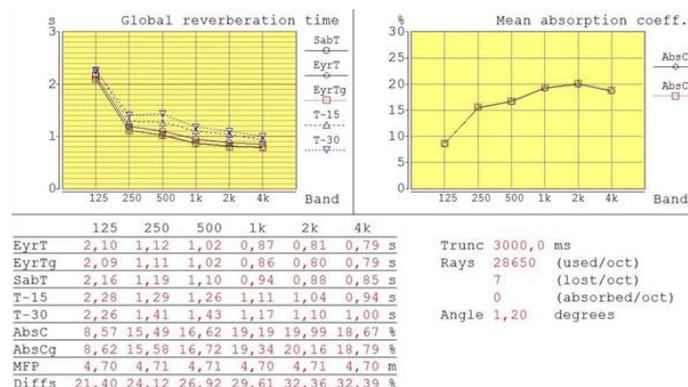


Figura 8.- Tabla y gráficas de los valores calculados del Tiempo de Reverberación

Los resultados muestran una buena correspondencia entre todos los valores 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  $RT_{mid} = 1,30 \text{ s}$ . Aun estando un poco por debajo del tiempo de reverberación buscado por el arquitecto, es un tiempo de reverberación de compromiso que propicia el uso de la sala para la palabra y música de cámara. La calidez musical BR y el brillo Br toman los valores  $BR = 1,41$ ,  $Br = 0,76$ , con lo que la sala daría una alta, quizá excesiva, respuesta en graves y algo baja en agudos. Se ha realizado además un estudio del tiempo de reverberación en sala vacía. Utilizando T-30 se obtiene  $RT_{mid} = 2,29 \text{ s}$ , valor muy elevado con respecto a la sala llena aunque inferior al calculado por el arquitecto.

- *Claridad musical  $C_{80}$* : el valor promedio de la claridad musical  $C_{80}$  para los 12 receptores en las bandas de frecuencia de 500 Hz, 1 kHz y 2 kHz, es  $C_{80}(3) = 3,8 \text{ dB}$ , valor superior al recomendado por la bibliografía<sup>10</sup> para una sala ocupada de uso musical. En sala vacía, se obtiene  $C_{80}(3) = -0,78 \text{ dB}$ , dentro del margen de lo recomendado para una sala de conciertos; el valor  $C_{80}(3)$  dentro del margen recomendado obtenido en sala vacía se justifica por el aumento muy significativo del tiempo de reverberación en esas bandas.
- *Fracción de energía lateral LF*: el valor porcentual medio en sala vacía de la fracción de energía lateral LF para los 12 receptores en las bandas de 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz y

1 kHz es  $LF(4) = 24,6$ . Esto da idea de que, en general, la impresión espacial del sonido es óptima, debido al elevado número de reflexiones laterales. Los valores obtenidos son más bajos en los receptores de las filas delanteras del patio de butacas (receptores 1 y 2,  $LF(4) \approx 19$ ), si bien son satisfactorios.

- **RASTI:** el valor porcentual del RASTI es superior a 50 en todos los receptores, **siendo el valor medio 60**. Estos resultados dan a la sala una categoría de “buena” en cuanto a la inteligibilidad de la palabra. Este es un dato que guarda correlación con el tiempo de reverberación obtenido, que, si bien es algo elevado, hace posible el uso de la palabra en este recinto.

## CONCLUSIONES

- 1.- La acústica geométrica se trata con especial cuidado, especialmente en el diseño del techo. El arquitecto realiza para el techo un trazado de rayos sonoros, derivado de los procedimientos de trabajo de Lothar Cremer, en el que analiza el alcance de las primeras reflexiones y se evalúa la diferencia de caminos recorridos por éstas respecto al sonido directo para asegurarse de la ausencia de ecos. En la simulación ha quedado demostrado que el techo se comporta como un elemento reflectante fundamental, sobre todo en reflexiones antes de los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo.
- 2.- El análisis de los ecogramas no ha detectado la presencia de ecos en ninguno de los receptores estudiados.
- 3.- 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; 74 dB en todas las localidades</b>
Sonoridad $G_{mid}$	<b>13,8 dB (sala vacía)</b>
Tiempo de reverberación $RT_{mid}$	<b>1,30 s</b>
Calidez acústica BR	<b>1,41</b>
Brillo Br	<b>0,76</b>
Claridad musical $C_{80}(3)$	<b>3,8 dB</b>
Fracción de energía lateral LF (4)	<b>24,6 (sala vacía)</b>
RASTI (%)	<b>60</b>

Tabla 2.- Valores de simulación de los parámetros acústicos

- 4.- El tiempo de reverberación obtenido para las frecuencias medias puede considerarse en la línea del compromiso buscado por el arquitecto. Este valor, junto con los que proporcionan el resto de los parámetros, posibilita el uso de la sala para conferencias y música de cámara.

<sup>1</sup> La Sala Juan de Villanueva no existe actualmente como sala de conciertos tras la reforma del Museo del Prado emprendida por el arquitecto Rafael Moneo. La inauguración tras esta intervención se realizó el 16-05-2007.

<sup>2</sup> Quiero expresar mi agradecimiento a Pedro Álvarez, Jefe de Mantenimiento del Museo del Prado por facilitar los planos existentes de la Sala Juan de Villanueva, varios de ellos inéditos, y de una manera muy especial a mi amiga Teresa Villalón Esteve, que con su generosa paciencia y entrega de su tiempo estuvo en el lugar adecuado para conseguirlos. Esta documentación ha sido básica para la realización de este trabajo.

<sup>3</sup> Hernández Pezzi, C. José María García de Paredes. Colegio de Arquitectos. Málaga, 1992. Pág. 92.

<sup>4</sup> García de Paredes, J. M. “Los problemas arquitectónicos de los Teatros de Ópera”. Seminario “La Ópera en España: Su problemática”. Ministerio de Educación y Ciencia. Toledo, 1975. Pág 175-186.

<sup>5</sup> Vicente Mestre Sancho, responsable y cofundador con Alfonso García Sancherms de la consultora García BBM, aseguró en una amable conversación verbal mantenida con Gonzalo Vallejo Ortega que realizó mediciones en la sala. No se pudo tener acceso a las mismas al no tenerlas en la sede de la empresa, por lo que no se han podido incluir en este trabajo.

<sup>6</sup> Baldellou, M. A et al. “José María García de Paredes”. Documentos de Arquitectura N°22. Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Oriental (Delegación de Almería), 1992. Pág. 35-40.

<sup>7</sup> CATT-Acoustic v8.0 *User's Manual*, SPECTRA D' Sign Kopiering AB, Gothenburg, 2002.

<sup>8</sup> Cremer, L; Fütterer, T. Reports (acoustical advice for Auditorio Nacional), 1982, 1985, 1987 y 1988, inédito. Agradecemos al estudio Paredes-Pedrosa su colaboración por la aportación de este material.

<sup>9</sup> Con el empleo de la fórmula de Sabine y como resultado de comparar resultados de medidas experimentales del tiempo de reverberación con y sin la presencia de un elemento absorbente, a veces ocurre que la absorción por metro cuadrado de algunos elementos supera el valor de 100, que es seguramente el origen de las propuestas de los valores para las rejillas de aire acondicionado.

<sup>10</sup> Carrión Isbert, A. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona (España), 1998.