

La Acústica Del Auditorio Nacional De Música De Madrid. Parte II: Sala de Cámara

PACS: 43.55-n; 43.58-e; 43.60-c

Juan José Gómez Alfageme, Andrés Martínez Banda, Patricia Redondo Martínez,
Elena Blanco Martín.
GAMMA-GAV UPM, ETSIST c/ Nikola Tesla s/n, 28031 Madrid, España, +34628280140,
juanjpose.gomez.alfageme@upm.es, gn.brachard@alumnos.upm.es,
p.martines@alumnos.upm.es, elena.blanco@upm.es

Palabras Clave: modelo geométrico, validación, parámetros acústicos

ABSTRACT.

In December 2019 - January 2020 the GAMMA-GAV research group held several measurement sessions at the Auditorio Nacional de Música de Madrid – Sala de Cámara. The aim of this work is to obtain a detailed study of the acoustics of this symphonic music hall. For this, measurements were made with 10 source positions and 70 microphone positions, according to the UNE-EN ISO 3382 Part 1 standard. Likewise, a simplified architectural model was made, which would later serve as a geometric model that would be validated with the EASE acoustic simulator. The validation of the model was carried out in several phases, from the adjustment of the average reverberation time, review of up to 10 different acoustic parameters, local source-microphone validation, comparison of frequency responses and perceptual tests. In this paper an acoustic study of the Symphony Hall is presented, both of the real measurements and of the simulations, in the first three phases of the validation process.

RESUMEN.

En diciembre de 2019 enero de 2020 el grupo de investigación GAMMA-GAV realizó varias sesiones de medición en el Auditorio Nacional de Música de Madrid – Sala de Cámara. La pretensión de este trabajo es obtener un estudio detallado de la acústica de esta sala de música sinfónica. Para ello se realizaron mediciones con 10 posiciones de fuente y 70 posiciones de micrófono, de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 3382 Parte 1. Asimismo, se realizó un modelo arquitectónico simplificado, que más tarde serviría como modelo geométrico que sería validado con el simulador acústico EASE. La validación del modelo se realizó en varias fases, desde el ajuste del tiempo de reverberación promedio, revisión de hasta 10 parámetros acústicos distintos, validación local fuente-micrófono, comparación de las respuestas en frecuencia y pruebas perceptuales. En esta ponencia se presenta un estudio acústico de la Sala de Cámara, tanto de las medidas reales como de las simulaciones, en las tres primeras fases de la validación.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de esta comunicación se realizará un estudio acústico detallado de la Sala de Cámara del Auditorio Nacional de Música de Madrid, con el fin de validar un modelo geométrico. Este se ha realizado a partir de un modelo arquitectónico simplificado con el software de modelado en tres dimensiones SketchUp y posteriormente se ha importado al software de simulación acústica EASE.

El plan Nacional de Auditorios surge en 1984 para solventar el déficit histórico de la infraestructura musical en España y de este modo fomentar la actividad musical y la difusión de la música y la danza a todos los ámbitos geográficos y sociales posibles. El diseño del Auditorio Nacional de Música de Madrid fue encargado al arquitecto José María García de Paredes y se eligió para dicha construcción un solar ubicado en la calle Príncipe de Vergara. La construcción del Auditorio Nacional comenzó en noviembre de 1984 y fue inaugurado el 21 de octubre de 1988. Cuenta con dos salas de concierto, la sala sinfónica con una capacidad para 2324 personas y la sala de cámara con espacio para 692 espectadores.

La Sala Sinfónica tiene unas dimensiones aproximadas de 19.8 m de largo, 20.8 m de ancho y una altura máxima de 12.6 m. El escenario tiene unas dimensiones aproximadas de 19.7 m de ancho en la boca, 9.2 m de fondo y una altura a peine de 6.8 m. La disposición de la audiencia tiene una relación público-escena fija frontal. Es de propiedad pública, está integrado en la Red de Auditorios y Teatros Nacionales y está gestionado por el Instituto Nacional de Artes Escénicas y Música (INAEM) dependiente del Ministerio de Cultura.



Figura 1 – Sala de Cámara. Vistas del escenario y fondo de la sala

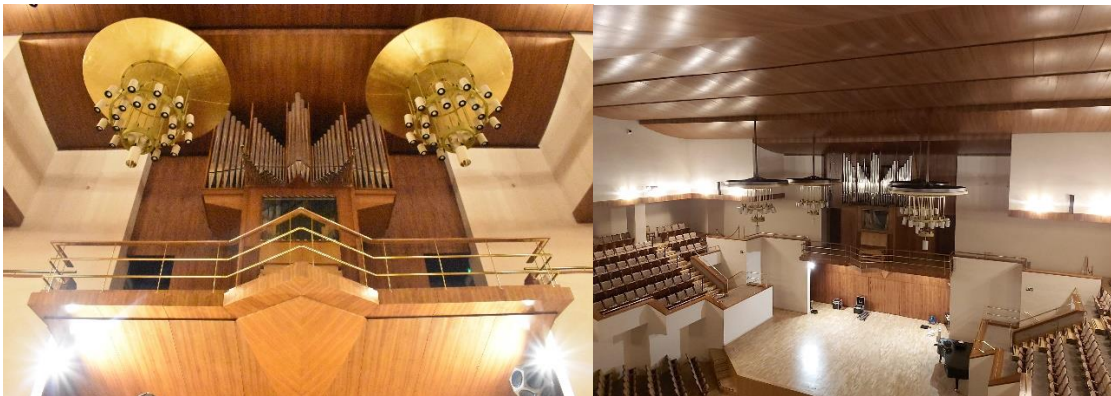


Figura 2 – Sala de Cámara. Detalles del órgano y techo de la sala

Esta ponencia es el final de un proyecto de trabajo del grupo GAMMA-GAV de la Universidad Politécnica de Madrid, que ha dado como fruto la realización de un estudio acústico detallado de la Sala de Cámara del Auditorio Nacional de Música y también ha permitido la realización de un Proyecto Fin de Grado dentro de la titulación de Ingeniería de Sonido e Imagen y un trabajo de Fin de Máster dentro de la titulación de Máster en Ingeniería Acústica.

El desarrollo de la ponencia se dividirá en tres partes: realización de medidas para la obtención de parámetros acústicos de la sala; diseño de un modelo arquitectónico simplificado en tres dimensiones con SketchUp; diseño de un modelo geométrico y realización de simulaciones con EASE; validación del modelo geométrico de acuerdo a un procedimiento desarrollado por GAMMA-GAV.

2. MEDIDAS IN SITU

En este apartado se realizará una explicación de la metodología seguida para realizar la toma de medidas in situ de los parámetros acústicos en la Sala de Cámara del Auditorio Nacional de Música de Madrid. Primero se expondrá la instrumentación utilizada para la toma de medidas y la selección de posiciones de fuentes y micrófonos siguiendo la norma UNE-EN ISO 3382-1:2010. Parte 1 [1]. Posteriormente se explicará la metodología seguida a la hora de realizar las medidas y el método de utilización del software DIRAC. Por último, se realizará una descripción de los pasos seguidos en el procesado de los datos, dando lugar a la obtención de los parámetros acústicos representativos de la sala.

2.1. Logística y toma de datos

Para la realización de las medidas en la Sala de Cámara se diseñó una campaña de medidas durante tres jornadas, la mayoría en horario nocturno, con una duración total de 28 horas de duración. El equipo de trabajo estaba formado por una media de 4 personas, dos de ellas ingenieros y dos estudiantes de grado y máster.

El equipamiento de medida consistía en ordenador con software DIRAC 6,1, 2 fuentes dodecaédricas DO AV12, micrófonos AKG CK92 y CK94, HATS B&K 4128C, tarjeta de sonido MOTU MKIII, amplificador de potencia CROWN 2200, sonómetro B&K 2260. El diagrama se puede observar en las siguientes figuras.



Figura 3 – Diagrama de montaje: con micrófonos omnidireccional y bidireccional; con HATS

Siguiendo las recomendaciones de la norma 3382-1, y teniendo en cuenta la configuración de la Sala de Cámara se decidió posicionar la fuente sonora en un total de 6 posiciones en el escenario (1.5 m del suelo), correspondientes a las posiciones habituales de los diferentes instrumentos durante un concierto. Respecto a las posiciones de los micrófonos, se tomó la decisión de considerar la sala como simétrica respecto del eje longitudinal de la sala. De acuerdo con esta hipótesis, se seleccionaron un total de 24 posiciones (5 de ellas de control para la comprobación de la simetría), repartidas en todas las zonas en las que en Auditorio divide las zonas de butacas, y de manera proporcional al número asientos de cada zona (1.2 m del suelo).

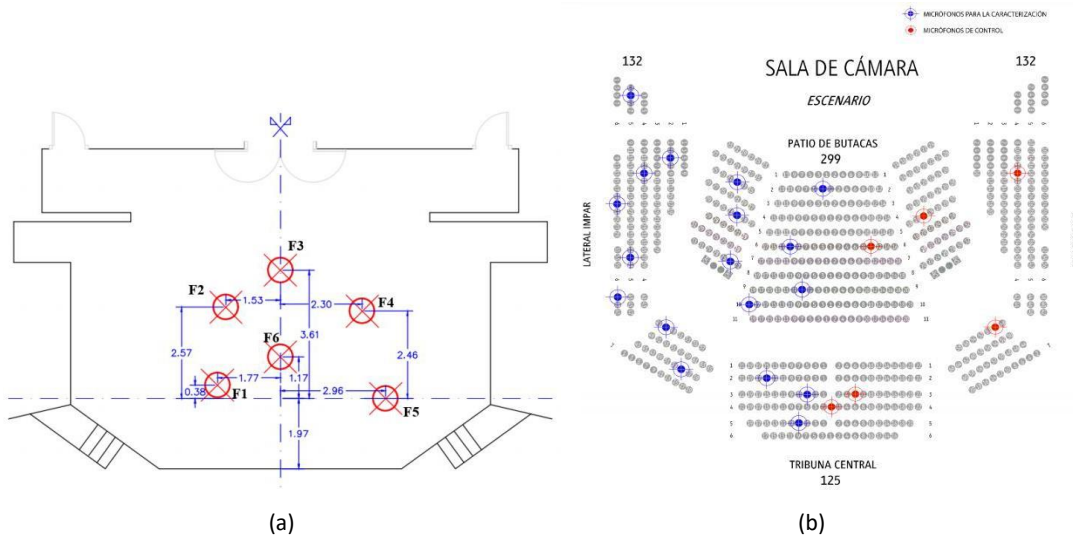


Figura 4 – Diagrama de posiciones de fuente(a) y micrófonos (b) /HATS

Como se ha comentado anteriormente, las medidas se realizaron tanto con micrófonos como con HATS. Como señal de excitación se empleó un barrido exponencial de tonos (20 Hz – 20kHz) con una duración de 10.32 s, con un promediado de tres repeticiones del barrido. En cada posición de fuente, se repiten la medida en dos ocasiones, promediando los resultados en cada posición. La dinámica de la medición es la de colocar las dos fuentes sonoras e ir rotándolas a lo largo del escenario, manteniendo fija la posición del micrófono o HATS. La duración completa

de cada ciclo de medida es de unos 18 minutos. Las posiciones de fuentes y micrófonos se pueden observar en la figura 4. Se tomaron registros de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica, tanto al inicio como a la finalización de cada sesión. También se midió en ruido de fondo en cada sesión en diferentes posiciones de cada zona.

2.2. Procesado de datos

El procesado de datos se realiza para un total de 4 zonas independientes. Se realiza un primer “filtrado” por INR, eliminando todas las posiciones de medida en las que el valor de INR sea menor de 35dB. Posteriormente se realiza un nuevo “filtrado” estadístico aplicando el criterio de Chauvenet, con el fin de eliminar los datos estadísticamente poco representativos.

Este proceso se realiza para un total de 12 parámetros acústicos: 4 temporales (EDT, T20, T30, RT); 4 energéticos (C50, C80, D50, Ts); 3 de espacialidad (LF, LFC, IACC), 2 de inteligibilidad (STI, Alcons). Para cada parámetro se realiza un procesado en bandas de 1/1 octava (102000 datos) y 1/3 de octava (340000 datos).

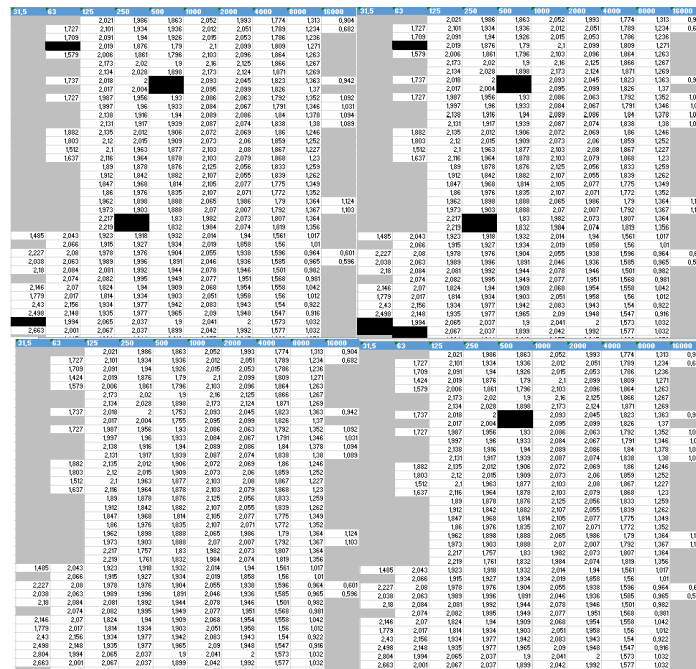


Figura 5 – Ejemplo de “filtrado” de datos

2.3. Obtención de parámetros acústicos y estudio acústico de la sala

Una vez ordenados y procesados todos los datos, se procede a obtener los valores promedio de los micrófonos de cada zona y el valor promedio de la sala en su conjunto. Esta información se proporciona en forma de tabla (Tabla 1 y Tabla 2), como en forma de gráfica (Figura 6). Toda la información se aporta tanto en bandas de 1/1 como 1/3 de octava. También se calculan los valores “mid” se cada uno de los parámetros.

Se realiza un cálculo de la desviación estándar de cada parámetro, tanto por zonas como en valor promedio de la sala. Esta desviación se expresa tanto en las unidades de cada parámetro como en valores de escalones de Umbral diferencial (JND). Esta será la métrica que utilizaremos posteriormente durante el proceso de validación del modelo.

Con toda esta información se elabora un informe acústico en bandas de 1/1 octava, de acuerdo a la norma 3382-1, que fue entregado a la gerencia del Auditorio, como contraprestación por las facilidades dadas para la campaña de medidas.

Tabla 1 – Tiempo medio Ts [ms] en banda de 1/1 octava por zonas

Promedio del RT [s] por zonas							
Frecuencias [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
LATERAL	2,06	1,98	1,93	2,09	1,98	1,62	1,08
PATIO DE BUTACAS	2,02	1,95	1,90	2,08	2,01	1,69	1,15
TRIBUNA CENTRAL	2,00	1,97	1,92	2,08	1,98	1,64	1,10
PROMEDIO	2,04	1,96	1,92	2,08	1,99	1,66	1,12

Tabla 2 – Claridad C80 [dB] en banda de 1/1 octava por zonas

Promedio del C80 [dB] medido por zonas							
Frecuencias [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
LATERAL	-2,04	-1,35	-0,47	-0,83	-0,66	1,11	3,82
PATIO DE BUTACAS	-2,30	-1,26	-0,29	-0,16	-0,62	0,85	4,74
TRIBUNA CENTRAL	-2,52	-0,56	0,56	-0,19	0,18	1,97	4,57
PROMEDIO	-2,25	-1,34	-0,35	-0,53	-0,57	1,22	4,31

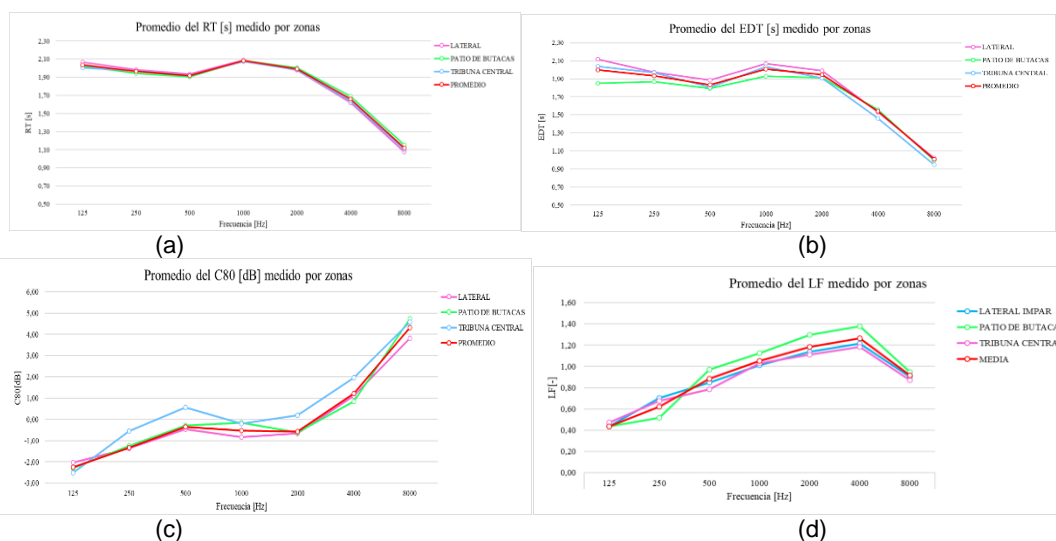


Figura 6 – (a) RT[s]; (b) EDT [s]; (c) C80 [dB]; (d) LF [-]

3. DISEÑO DEL MODELO ARQUITECTÓNICO 3D SIMPLIFICADO

3.1. Diseño y simplificaciones acústicas

A partir de los 8 planos en AutoCAD que nos proporcionó el Auditorio: 6 planos de distintas secciones de la planta, 1 plano de la sección transversal y 1 plano de la sección longitudinal; se comienza a seleccionar las capas y zonas de los mismos que van a ser necesarias para el diseño del modelo arquitectónico simplificado en SketchUp.

Para realizar el modelo se modeló una planta cada vez, de este modo se fueron utilizando los planos de AutoCAD de sección de planta uno por uno, ascendiendo por altura. Además, cabe destacar que para simplificar la construcción del modelo se tomó la sala sinfónica como simétrica respecto del eje longitudinal y por ello solo se fue modelando una primera mitad que al finalizar se duplicará para obtener la sala completa.

Tabla 3 – Descripción de planos de AutoCAD

Nombre del Plano	Cota	Descripción
Plano 1 Planta	+6.46 m	Patio y Escenario.
Plano 2 Planta	+13.94 m	Muestra parte de la tribuna central, el lateral y la parte superior de la sala
Plano 3 Planta	+17.58 m	Techo.
Plano 4 Alzado		Alzado longitudinal por el centro de la sala
Plano 5 Sección		Sección transversal en la boca del escenario

En las figuras 7 y 8 se pueden observar diferentes fases del proceso de diseño de la sala, desde la primera planta al techo acústico del recinto. En la figura 9 se puede observar el diseño final de la sala de cámara.

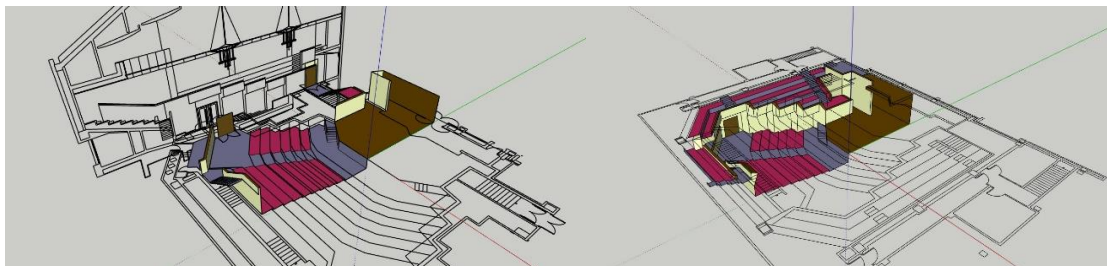


Figura 7 – Modelo en tres dimensiones de la Planta baja y escenario, tribuna, anfiteatro lateral de la primera planta

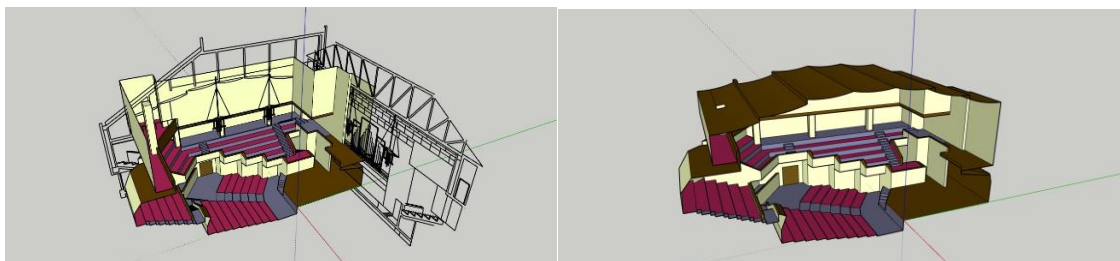


Figura 8 - Tribuna lateral, patio de butacas y anfiteatro y diseño del techo acústico

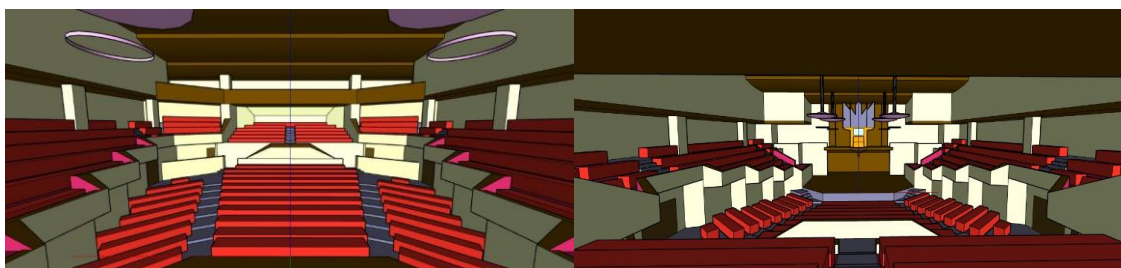


Figura 9 – Vista frontal y posterior de la sala acabada

Respecto a las simplificaciones que ha habido que hacer, realmente son muy pocas, pues la geometría general de la sala no contiene elementos curvos que sea necesario discretizar, con la excepción de las lámparas de techo sobre el escenario y el conjunto de tubos del órgano que se encuentra encima del coro. Las aproximaciones que se han realizado de estos elementos se muestran en la figura 10, y para compensar las simplificaciones se dotará de difusión (scattering) a estos componentes dentro del software de simulación EASE. Otra simplificación se ha realizado en el diseño de las butacas y de las sillas del coro para el modelo arquitectónico que se exportará a EASE, donde únicamente se ha delimitado el espacio que estas ocupan, integrándolos en dos capas denominadas butacas y coro, es decir como si fueran todas superficies con un material idéntico.

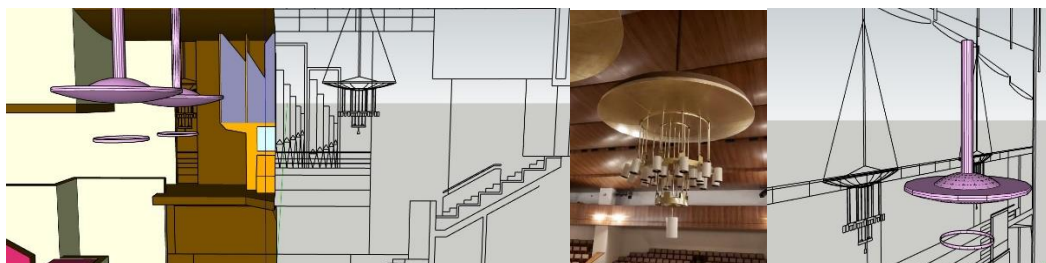


Figura 10 – Simplificaciones realizadas en los tubos del órgano y las luminarias del escenario

3.2. Asignación de capas y renderización de modelo

Se realizó una asignación de capas de materiales existentes en la sala dentro del modelo, identificándose un total de 14 capas distintas, que se relacionarán con 14 materiales con comportamientos acústicos diferenciados.

Una vez finalizado el modelo arquitectónico simplificado que será el que se exportará a EASE para realizar la simulación acústica, se decidió realizar un modelo arquitectónico con mayor detalle para poder realizar renderizaciones en donde se pudiera observar mejor la gran similitud de la sala realizada virtualmente con la sala real. Para poder realizar este cambio en el modelo arquitectónico fue necesaria la construcción de 4 elementos que varían con respecto al modelo simplificado: modelado de las butacas y las sillas del coro; diseño de los tubos del órgano; asignación a cada capa de un material que se asemejase visualmente lo máximo posible a la realidad; diseño de las puertas de acceso a la sala. Posteriormente, se realizó un diseño de la iluminación de la sala. Estas modificaciones se pueden observar en la figura 11.



Figura 11 - Sala de Cámara con iluminación completa, parte frontal. Fotografía y renderización

4. DISEÑO DEL MODELO GEOMÉTRICO

4.1. Importación del modelo y restricciones

Una vez acabado el modelo arquitectónico simplificado, debemos de importarlo al software EASE y de este modo obtener el modelo geométrico. Los pasos a seguir para importar el modelo y resolver los posibles errores que se cometieron en el diseño fueron los siguientes: primero, en SketchUp se debe seleccionar todo el modelo en tres dimensiones y asignarlo a un grupo; segundo, importar el modelo arquitectónico al software EASE, para ello debemos de seleccionar un material distinto para cada capa y de este modo obtener el modelo geométrico; tercero, detectar la presencia de “agujeros” en la sala mediante la herramienta “*Check Holes*” de EASE (esta es una de las principales restricciones de este software, puesto que mientras detecta la presencia de “agujeros” no realizará ninguna simulación mediante acústica geométrica); ejecutar un trazado de rayos y comprobar que ninguno de ellos sale de la sala.

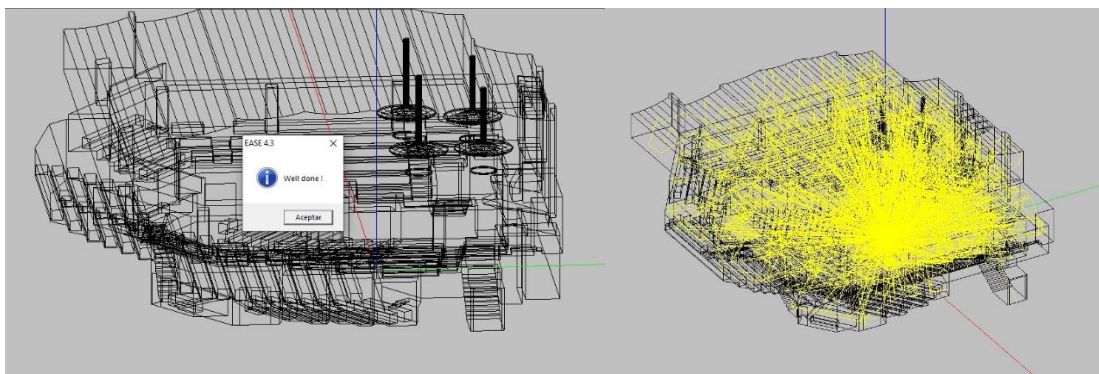


Figura 12 - Herramienta *Check Holes* y trazado de rayos en EASE

En la Figura 13 podemos ver el modelo geométrico importado correctamente a EASE tras haber realizado todo lo anteriormente descrito.

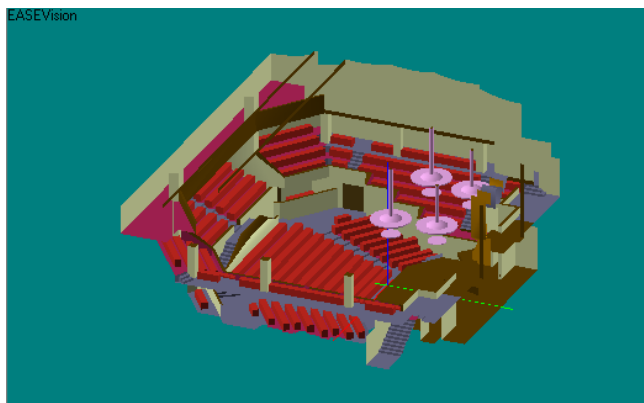


Figura 13 – Vista EASE Vision del modelo geométrico completo

4.2. Asignación de materiales acústicos

Una vez importado el modelo arquitectónico simplificado al software de simulación acústica EASE, debemos de realizar la elección de los materiales para obtener el modelo geométrico final. Como se ha explicado anteriormente se debe de seleccionar un material distinto por cada capa creada en el software SketchUp. Los materiales fueron escogidos entre bases de datos de materiales genéricos a partir de sus coeficientes de absorción y para ello fue necesario evaluar cada una de las capas para determinar el material real que se encuentra en la sala.

Tabla 4 – Asignación de materiales en EASE

Frecuencia	Coeficientes de absorción de cada material según la frecuencia										
	Madera del órgano	Escenario	Lámparas	Linóleo	Metal de órgano	Puertas	Madera suelo	Madera oscura	Butacas	Techo	Paredes
100	0,18	0,15	0,05	0,26	0,03	0,15	0,15	0,10	0,10	0,27	0,01
125	0,19	0,15	0,05	0,20	0,04	0,15	0,15	0,10	0,20	0,20	0,01
160	0,20	0,15	0,05	0,14	0,05	0,13	0,15	0,10	0,26	0,14	0,01
200	0,22	0,15	0,05	0,08	0,07	0,12	0,15	0,10	0,33	0,12	0,01
250	0,23	0,15	0,05	0,02	0,08	0,10	0,15	0,10	0,40	0,10	0,02
315	0,24	0,13	0,05	0,02	0,07	0,09	0,13	0,10	0,40	0,16	0,02
400	0,24	0,10	0,05	0,03	0,07	0,07	0,10	0,10	0,41	0,20	0,02
500	0,25	0,08	0,05	0,03	0,06	0,06	0,08	0,10	0,41	0,17	0,02
630	0,27	0,07	0,05	0,03	0,05	0,07	0,07	0,09	0,41	0,16	0,02
800	0,28	0,06	0,05	0,03	0,05	0,07	0,06	0,09	0,42	0,12	0,03
1000	0,30	0,05	0,05	0,03	0,04	0,08	0,05	0,08	0,43	0,08	0,03
1250	0,32	0,05	0,05	0,03	0,04	0,09	0,05	0,08	0,44	0,06	0,03
1600	0,35	0,04	0,05	0,03	0,04	0,09	0,04	0,08	0,46	0,02	0,04
2000	0,37	0,04	0,05	0,03	0,04	0,10	0,04	0,08	0,47	0,10	0,04
2500	0,39	0,04	0,05	0,03	0,04	0,08	0,04	0,08	0,48	0,10	0,04
3150	0,40	0,03	0,05	0,04	0,03	0,07	0,03	0,07	0,49	0,10	0,05
4000	0,42	0,03	0,05	0,04	0,03	0,05	0,03	0,07	0,50	0,10	0,05
5000	0,44	0,03	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0,07	0,53	0,10	0,05
6300	0,46	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,53	0,10	0,05
8000	0,48	0,03	0,05	0,02	0,03	0,02	0,03	0,07	0,53	0,10	0,05
10000	0,48	0,03	0,05	0,02	0,03	0,02	0,03	0,07	0,54	0,10	0,05

Una vez escogidos todos los materiales debemos de introducir los datos de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica de la sala, así como los datos del ruido de fondo medido en la sala. A continuación, introduciremos en EASE las fuentes sonoras y los micrófonos (oyentes) y las áreas de audiencia, en las mismas posiciones de ocupaban estos en la sala durante el proceso de medidas in situ.

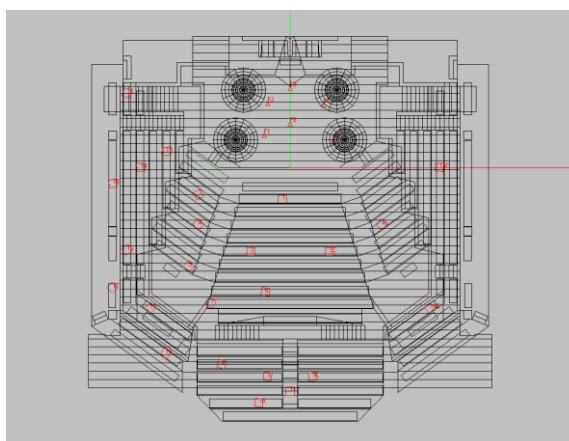


Figura 14 – Áreas de Audiencia, Fuentes y micrófonos en EASE

5. VALIDACIÓN DEL MODELO

5.1. Cinco pasos a seguir en el procedimiento de validación

Debemos comentar que todo lo que se va explicar a continuación corresponde a la comparación de los valores promedio medidos in situ y los valores promedio simulados de los diferentes parámetros acústicos. Por tanto, esta primera validación la denominaremos validación de valores promedio.

En primer lugar, debemos de comprobar que el tiempo de reverberación calculado por el programa de simulación acústica EASE se asemeja al obtenido in situ. EASE utiliza la acústica estadística para obtener el tiempo de reverberación, calculándolo a través de la ecuación Eyring, utilizando el volumen de la sala y los valores de los coeficientes de absorción de los materiales asignados.

Actuaremos de la misma forma con la acústica geométrica, el primer paso consiste en validar los valores obtenidos para el tiempo de reverberación. Esto se va a realizar con la herramienta *Aura Mapping*

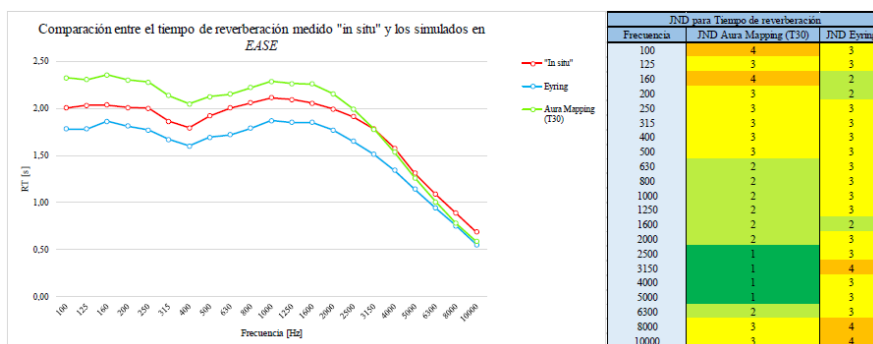


Figura 15 – Comparación de RT medido in situ y calculado por acústica estadística y geométrica

Una vez que los tiempos de reverberación nos parecen estar dentro de valores adecuados de JND, comenzaremos a hacer la comprobación con los parámetros energéticos C50, C80 y con los parámetros de inteligibilidad STI, Alcons. Primero con acústica estadística mediante la herramienta *Standard Mapping* y posteriormente con *AURA Mapping*.

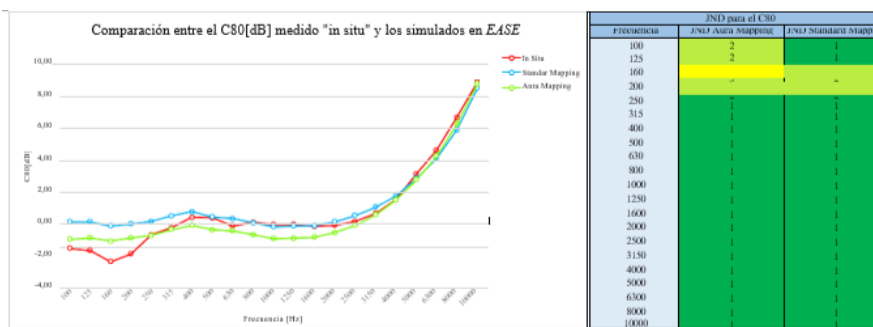


Figura 16 – Comparación de C80 medido in situ y calculado por *Standard Mapping* y *Aura Mapping*

Si las distancias en JND de estos 4 parámetros están dentro de lo que consideraremos como aceptable (1-3 JND), procederemos a realizar la simulación del resto de parámetros acústicos que se midieron in situ mediante *AURA Mapping*. En caso contrario, deberemos realizar una modificación de alguno de los materiales acústicos y volver al primer paso explicado anteriormente.

5.3. Métrica y matriz de JND

Una vez que hemos realizado todos los pasos anteriores, vamos a representar el parecido entre los valores promedio de los parámetros medidos in situ y los valores promedio, vamos a calcular la distancia entre ellos mediante una métrica en distancia JND (definida mediante escalones JND) y la vamos a representar en forma de matriz JND, mediante la asignación de un código de colores. Asimismo, vamos a calcular el porcentaje de celdas de la matriz que están en cada escalón de

JND y el acumulado entre 1-3 JND. A la vista de los resultados de tabla 5, podemos ver que el acumulado 1-2 JND es del 84% y el acumulado 1-3 JND es del 95% en un análisis en bandas de 1/3 de octava. De la misma manera 1-2 JND es del 72% y 1-3 JND es del 95% en bandas de 1/1 octava.

Tabla 5 – Matriz de JND y cálculo de porcentajes por escalones de JND

Frecuencia [Hz]	Standard mapping					Aural mapping									
	RT	ES	CS0	CS0	ALCONS	STI	RT	T20	T30	EDT	DS0	CS0	CS0	ALCONS	STI
100	3	3	1				4	4	4	4	1	2	1		
125	3	3	1				3	3	3	4	1	2	1		
160	2	4	2				4	4	4	3	1	3	1		
200	2	3	2				3	3	3	3	1	2	1		
250	3	1	1				3	3	3	3	1	1	1		
315	3	1	1				3	3	3	3	1	1	1		
400	3	1	1				3	3	3	3	1	1	1		
500	3	1	1				3	3	3	3	1	1	1		
630	3	1	1				2	2	2	2	1	1	1		
800	3	1	1				2	2	2	2	1	1	1		
1000	3	1	1	1	1		2	3	2	3	2	2	1		
1250	3	1	1				2	3	2	3	1	1	1		1
1600	2	1	1				2	3	2	3	1	1	1		
2000	3	1	1				2	2	2	2	1	1	1		
2500	3	1	1				1	1	1	1	1	1	1		
3150	4	1	1				1	1	1	1	1	1	1		
4000	3	1	1				1	1	1	1	1	1	1		
5000	3	1	1				1	1	1	1	1	1	1		
6300	3	1	1				2	2	2	1	1	1	1		
8000	4	2	1				3	3	3	2	1	1	1		
10000	4	2	1				3	3	3	1	1	1	1		

	1 JND	2 JND	3 JND	>3 JND
1/1 oct	53%	18%	23%	6%
1/3 oct	55%	19%	24%	2%
	1 JND	1-2 JND	1-3 JND	>3 JND
1/1 oct	53%	71%	94%	8%
1/3 oct	55%	74%	98%	2%

6. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

El procedimiento desarrollado para la validación del modelo geométrico intenta valorar el comportamiento del modelo con respecto de una cantidad elevada de parámetros medidos en la sala. Entendemos que pueda parecer ambicioso, y aunque en este caso el resultado se haya considerado como satisfactorio, es posible que no todas las salas que se estudien en el futuro se adapten tan bien al procedimiento. Nuestra filosofía de trabajo es la de no variar el procedimiento de validación en función de la sala que vayamos a simular.

Las futuras líneas de trabajo consisten en profundizar más en el procedimiento de validación, pasando de una validación de promedios a una validación punto a punto, en la que seguiremos un procedimiento similar para medir la distancia en JND de cada punto con respecto al promedio y la distancia de cada punto simulado al medido. También, estamos diseñando test perceptuales mediante la comparación de auralizaciones de respuestas biaurales medidas con HATS y simuladas.

7. AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a las 14 personas que estuvieron midiendo con nosotros durante un total de 9 noches en el Auditorio Nacional. A Juan Carlos y Francesca por su colaboración en el diseño de los modelos arquitectónicos. A Narciso, Gerente en aquel momento del Auditorio Nacional, por creer en nosotros y facilitarnos mucho las cosas. A ArquLAV por prestarnos el HATS (al que nosotros llamamos PACO y ellos Miguelito). A Elena por venirse a medir conmigo todas las noches y aguantarme durante muchos años de investigación. A todos mis alumnos, de este y otros proyectos por creer en mí y dejarse convencer por un loco de la Acústica. Sin todos ellos no habríamos podido llegar tan lejos. Gracias.

8. REFERENCIAS

- [1] AENOR, «Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1: Salas de espectáculos. UNE- EN ISO 3382-1:2009», 2010.
- [2] ACSA, «An Acoustical History of Theaters and Concert Halls: An Investigation of Parallel Developments in Music, Performance Spaces, and the Orchestra,» de Annual Meeting Proceedings, Constructing Identity, 1998
- [3] N. W. Adelman-Larsen, Rock and Pop Venues, Acoustic and Architectural Design, Springer, 2014, pp. 25-34
- [4] S. Cerdá, Concert halls' sound quality, Informes de la Construcción, Vol 65, 2013



**53º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA
XII CONGRESO IBÉRICO DE ACÚSTICA**