

Análisis acústico de la tipología teatral a la italiana a través del estudio del Teatro Principal de Valencia



Arturo Barba Sevillano; Alicia Giménez Pérez
Universidad Politécnica de Valencia
arbase@fis.upv.es, agimenez@fis.upv.es

PACS: 43.55.Gx; 43.55.Ka

Resumen

El Teatro Principal de Valencia es uno de los teatros a la italiana en activo más antiguos de España. Proyectado en 1774 e inaugurado en 1832, no ha experimentado cambios tipológicos excesivos a lo largo de la historia. Esto lo en una sala excelente para abordar un estudio exhaustivo del funcionamiento acústico de la tipología arquitectónica operística a la italiana.

Para ello se ha realizado una rigurosa investigación histórica de la evolución del edificio, se han llevado a cabo medidas acústicas normalizadas en la sala teatral y se ha elaborado un modelo geométrico virtual. Con todo ello, la acústica de la sala se ha analizado a partir de estudios geométricos de sus planos, del cálculo completo de los parámetros acústicos más relevantes y de la obtención de mapeados de los mismos mediante un software de simulación acústica, concluyendo con una detallada caracterización acústica de las distintas zonas de aforo de la sala extrapolable a otros teatros a la italiana.¹

Abstract

The “Teatro Principal” of Valencia is one of the oldest Italian Opera Houses in Spain. This theatre was designed in

1774 and opened in 1832, and it has not experimented important typological changes throughout its history. This is why it is an excellent room to exhaustively study the acoustics of Italian Style Theatres.

Firstly we have conducted a rigorous investigation of the historical evolution of the building. Standard acoustics measures in the theatre have been carried out and a virtual model has been developed. As a result, the acoustics has been analyzed using geometric studies, complete calculation of acoustic relevant parameters and audience area mapping using acoustics simulation software. The result of this study has been a detailed acoustics characterization of the different audience zones in Italian Opera Houses.

1. Introducción

La mayoría de las investigaciones acústicas llevadas a cabo en los últimos años sobre teatros a la italiana han sido desarrolladas por investigadores de las universidades italianas (Nápoles, Bolonia, Ferrara, Parma, etc.) algo lógico dada la gran presencia de teatros históricos en Italia, cuya riqueza patrimonial a este respecto aventaja con mucho al resto de Europa. Existe gran número de líneas de investigación sobre estos teatros secundadas en numerosas publicaciones internacionales. Se han divulgado interesantes estudios sobre la

¹Este artículo contiene parte del trabajo de investigación (D.E.A.) presentado por Arturo Barba en la Universidad Politécnica de Valencia (2008) [1]

acústica de un determinado teatro [2] [3] [4], comparaciones acústicas entre salas operísticas [5] [6] estudios globales sobre teatros de ópera de todo el mundo [7], trabajos sobre particularidades acústicas de los fosos orquestales y de los escenarios [8] [9] [10] [11] [12], sobre la problemática de los volúmenes acoplados en teatros de ópera [13], focalizaciones sonoras [14], etc.

En España la investigación sobre la acústica de teatros de ópera a la italiana no ha tenido un desarrollo excesivo. Cabe citar los artículos escritos por H. Arau [15] [16], F. Daumal [17] o A. Ramón [18] y por el conjunto de investigadores de la Universidad de Sevilla que han realizado numerosas publicaciones sobre rehabilitación de teatros en Andalucía en los últimos años [19] [20] [21].

En lo concerniente al caso valenciano, el Teatro Principal de Valencia es una de las salas teatrales en activo de tipología arquitectónica “a la italiana” más antiguas de España, anterior incluso a los proyectos iniciales de los emblemáticos “Teatro Real” de Madrid (1850) y “Gran Teatre del Liceu” de Barcelona (1847). Proyectado en 1774 e inaugurado en 1832, el Teatro Principal ha sido sin ninguna duda la cabeza visible de la vida teatral y musical de la Comunidad Valenciana durante más de 150 años, desde su inauguración hasta finales de la pasada década de los 80, cuando comenzó la edificación de modernos auditorios en la ciudad de Valencia y en su entorno.

Dado que ha permanecido sin cambios tipológicos relevantes a lo largo de la historia y que ha tenido la fortuna de sortear al que históricamente ha sido el principal enemigo natural de los teatros, el fuego, el Teatro Principal es una sala excelente para abordar un estudio exhaustivo del funcionamiento acústico de la tipología arquitectónica operística a la italiana que ostentó su hegemonía en Europa desde finales del siglo XVII hasta principios del XX. Así lo hemos hecho con la convicción de estar saldando una deuda pendiente con nuestra cultura, con el propio edificio y sus artífices, y con los miles de espectadores que semana tras semana, sigue acogiendo en sus butacas.

A modo de introducción expondremos las características formales que identifican todo teatro a la italiana. En segundo lugar realizaremos una descripción geométrica de la sala teatral que nos ocupa y explicaremos el proceso de medición acústica in situ realizado conforme a la normativa internacional, para exponer a continuación las características del modelo geométrico virtual de la sala creado, el ajuste de sus coeficientes y la validación del mismo una vez exportado a un software de simulación acústica. Todo ello nos

permitirá llevar a cabo un análisis en profundidad del comportamiento de los principales parámetros acústicos en las diferentes zonas de aforo de una sala teatral a la italiana, obteniendo resultados en gran medida extrapolables a los recintos de esta tipología arquitectónica. El artículo finaliza con la exposición de las principales conclusiones obtenidas.

1.1 Los teatros de ópera a la italiana. Caracterización

El llamado teatro a la italiana surge de la evolución de la arquitectura teatral renacentista de la Italia del siglo XVI y queda codificado como tipología arquitectónica definida desde mediados del siglo XVII con las siguientes características formales:

- **Forma curva en planta:** Las curvas empleadas con mayor frecuencia fueron la “U” presente en teatros tempranos del siglo XVII, la geometría en herradura que fue sin duda una de las más extendidas, la geometría acampanada, la elipse, la forma circular o semicircular y el óvalo.
- **Presencia de varios pisos con palcos,** lo cual permitió aumentar el aforo de los teatros a costa de la pérdida de visibilidad de numerosas localidades de los palcos laterales de los pisos superiores.
- **Presencia de foso orquestal** en una posición intermedia entre el escenario y la platea, y en una cota inferior a ambos.
- **Existencia de la “caja escénica italiana”** que dotó al escenario de mucha mayor altura, anchura y profundidad que las anteriores tipologías teatrales renacentistas, adaptándose con ello a las cada vez más complejas demandas escénicas de las representaciones teatrales y operísticas en los siglos XVII y XVIII.
- **Techo plano sobre la zona de público** o con una curvatura muy ligera, evitando con ello los problemas de focalización de reflexiones que frecuentemente producen las cúpulas y los techos abovedados.
- **Difusión sonora en un amplio rango de frecuencias:** los palcos y plateas actúan de difusores de bajas frecuencias; y las butacas, la geometría en sección de los frentes de los palcos y la profusa decoración de los paramentos contribuyen a la difusión de los sonidos de frecuencias medias y altas respectivamente.

2. El Teatro Principal de Valencia; Características, mediciones y simulación

2.1 Descripción de la sala

Declarado Monumento Histórico-Artístico Nacional desde 1983, el Teatro Principal de Valencia es un edificio exento situado en pleno centro de la ciudad de Valencia destinado a todo tipo de representaciones escénicas y musicales (ópera, teatro, danza, conciertos, festivales, etc.) incluyendo producciones propias.

Fue proyectado por el arquitecto italiano Felipe Fontana en 1774. Su diseño inicial sufrió numerosas modificaciones por razones presupuestarias y tras sucesivas interrupciones de las obras, el teatro se inauguró en 1832. Su sala teatral muestra geometría en herradura, aunque Fontana era discípulo del arquitecto A. Galli-Bibiena partidario de la forma acampanada; y pese a que los diseños teatrales de los arquitectos valencianos de su época se decantaban hacia la forma elíptica [22]. El aforo de la sala es de 1226 localidades distribuidas en platea (patio y palcos laterales) y cuatro niveles de palcos y asientos de los cuales los dos últimos disponen de una galería posterior ($460 + 226 + 156 + 232 + 152$). Esta misma sala en el año 1840 llegó a acoger a 1871 espectadores según tenemos constancia por escritos de la época [23].

Los datos geométricos del teatro se muestran en la Tabla 1. Los materiales de acabado de la sala teatral son prácticamente idénticos a los que tuvo en el siglo XIX, con elevada presencia de tapizados y otros elementos absorbentes en las butacas del patio, elementos divisorios y cortinajes gruesos en los palcos, telón fijo textil para ocultar el telón cortafuegos, etc. El suelo del patio está formado por tarima flotante sobre cámara de aire, con acabado exterior de tablero de madera. Los frentes de los palcos, arco de proscenio y el techo de la sala presentan un acabado tipo enlucido reflectante con amplia decoración con relieves de escayola de inspiración naturalista y geométrica.

La ornamentación y la iluminación de los frentes de los palcos decrece conforme aumenta la altura. El cielorraso de la sala cuenta con una gran lámpara central que se repuso en los años 80 y los planos originales de la ornamentación actual se conservan en el Archivo de la Real Academia de Bellas Artes de San Carlos de Valencia (año 1854).

Bajo el foso orquestal y probablemente con objeto de reforzar el sonido de la orquesta, se realizó en el siglo XIX una



Figuras 1, 2, 3 – Teatro Principal de Valencia: sala completa y detalle de los frentes de los palcos.

Tabla 1 – Datos Geométricos del Teatro Principal de Valencia ²

ZONA DEL TEATRO	DATOS GEOMÉTRICOS	
Escenario	Anchura libre máxima	24.65 m
	Profundidad	17.55 m
	Ancho de boca escénica (embocadura)	12.23 m
	Altura libre	19.00 m
	Volumen	7350 m ³
	Pendiente	3.3 %
Zona de público	Longitud (fondo desde boca)	21.80 m
	Anchura máxima	20.12 m
	Altura máxima	16.00 m
	Volumen	6450 m ³
	Altura Piso 1*	3.72 m
	Altura Piso 2*	6.60 m
	Altura Piso 3*	9.60 m
Foso orquestal	Superficie (variable)	de 70 m ² a 100 m ²
	Profundidad respecto a la platea	1.70 m
Aforo	1226	
* de cota inferior de la platea, a cara superior del forjado		

² Los datos que no han podido ser verificados in situ, se han tomado de la página web de la SGAE:

<http://www.artenetsgae.com/mire/index.htm> (Mapa Informatizado de Recintos Escénicos y Musicales de España) y de la página web oficial del teatro: <http://teatros.gva.es/sala.php?laId=21>

cámara de aire en la cual se ubicaron en torno a un centenar de vasijas cerámicas invertidas perforadas en su base de aproximadamente 40 cm de altura que fueron colocadas para ejercer una función acústica no determinada con exactitud. Próximamente abordaremos su estudio en profundidad, aunque ya hemos difundido investigaciones previas realizadas a este respecto en publicaciones anteriores [24] [25].

2.2 Medición acústica in situ: equipamiento y parámetros

La técnica empleada para la obtención de medidas acústicas in situ en la sala teatral ha sido el método Impulse response (“respuesta al impulso”) siempre de acuerdo con la norma ISO 3382 [26] que establece la metodología normalizada para la realización de mediciones acústicas en recintos. La toma de datos fue realizada en 2006, en condiciones de sala vacía.

La señal utilizada es un Barrido Sinusoidal, seno cuya frecuencia es una función del tiempo (de 20 Hz a 20 kHz). La sala es excitada mediante un sistema de emisión formado por un PC, una tarjeta de sonido profesional (Vxpocket v2), un amplificador M-1000 de elevada potencia por canal (Nivel de potencia de salida RL = 40: 520 W + 520 W) y una fuente dodecaédrica que se aproxima razonablemente a una fuente idealmente omnidireccional (modelo DO12: potencia nominal 600 W, potencia sonora > 120 dB).

La señal emitida, ha sido recogida en 94 puntos de la sala (muy por encima del número de puntos exigido por la norma ISO 3382) mediante un sistema de adquisición formado por un PC, la tarjeta de sonido profesional ya citada y micrófonos G.R.A.S. tipo 40 AK (Sensibilidad a 250Hz 50 mV/ Pa, Respuesta en frecuencias (\pm dB): 3.15 Hz-20 kHz, Límite Superior de Rango Dinámico (3% Distorsión): 164 dB re. 20 μ Pa, Límite Inferior de Rango Dinámico: 14 dB, re. 20 μ Pa) y sus correspondientes fuentes de alimentación G.R.A.S. 12AA y preamplificadores G.R.A.S tipo 26AK (rango de frecuencias: 2Hz-20 kHz). Para la determinación de los parámetros de espacialidad hemos utilizado el micrófono multipatrón AT4050/CM5 (Respuesta en frecuencia: 20-20.000Hz, sensibilidad: 15.8 mV, patrones de direccionalidad: cardioide, omnidireccional, figura en -8-) y la correspondiente fuente de alimentación “Phantom”. Finalmente las medidas binaurales se han llevado a cabo mediante una cabeza artificial normalizada HEAD Acoustics HMS III.0 (rango de transmisión: 3 Hz–20 kHz, \pm 3 dB/+0.1 dB; rango dinámico: tip. >118 dB, max SPL 145 dB).

El software WinMLS con el que hemos registrado y grabado la señal recibida por los micros en la medición posibilita obtener los parámetros acústicos de la respuesta al impulso según la norma ISO 3382, así como otros parámetros no incluidos en la nor-

ma como LF, LFC o medidas de sonoridad (G) utilizando el sonido directo como referencia. El elevado número de puntos de medida registrados (94) nos ha permitido llevar a cabo un ajuste exhaustivo de la simulación virtual elaborada ignorando incluso la simetría geométrica de la sala hasta haber comprobado con las medidas que existía la correspondiente simetría acústica.

De este modo, los parámetros calculados a partir de las medidas acústicas in situ llevadas a cabo en el Teatro Principal de Valencia, expresados de acuerdo a los criterios de agrupación que posteriormente utilizaremos para el análisis acústico del recinto [27], han sido:

- Parámetros temporales: TR, BR, Br;
- Parámetros energéticos: G, C80, D50 (C50);
- Parámetros espaciales: IACC, LF y LFC;
- Parámetros de Inteligibilidad RASTI STI.

Para su estudio se han adoptado las formulaciones propuestas en investigaciones mayoritariamente utilizadas por la comunidad científica [28] [29] [30] [31] [32].

2.3 Simulación acústica

Una vez conocidos los valores de los parámetros de calidad sonora del Teatro Principal descritos en el apartado anterior, utilizamos un sistema de simulación acústica para alcanzar un conocimiento más profundo de su comportamiento acústico.

Para ello, tras completar y digitalizar la información planimétrica bidimensional existente del teatro, elaboramos un modelo geométrico tridimensional del mismo con el programa AutoCAD formado por 1470 superficies (Figura 4) y lo exportamos al software de simulación acústica CATT-Acoustic-v8 [33], programa que trabaja con Algoritmos Híbridos que combinan métodos de Trazado de Rayos y métodos de Fuentes Imagen.

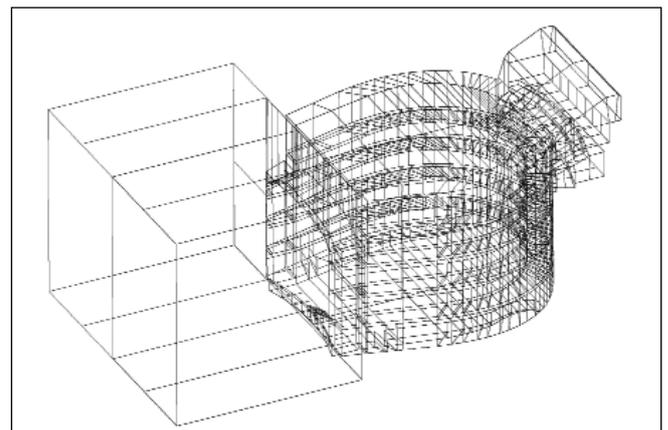
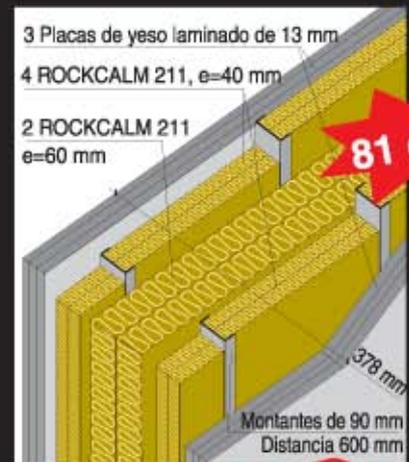


Figura 4 – Modelo geométrico tridimensional (AutoCAD 2004)

SOLUCIONES ACÚSTICAS

ENSAYOS REALIZADOS CON INSTALACIONES ELÉCTRICAS



TENEMOS LAS SOLUCIONES QUE NECESITA

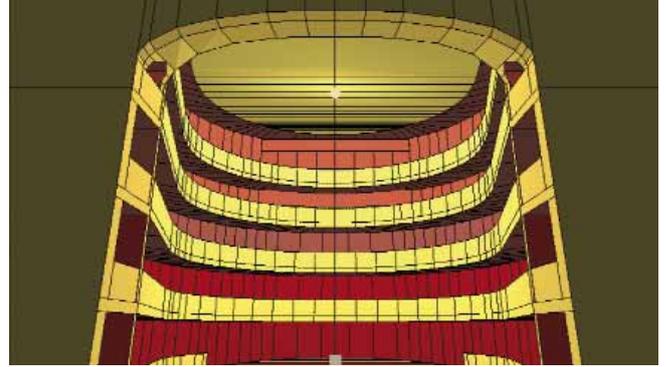
- **ROCKWOOL** lanza al mercado las nuevas soluciones **ROXUL** para tabiquería seca.
- Observe los resultados obtenidos y se sorprenderá.
- Soluciones constructivas para aislar acústicamente particiones distributivas y separativas.
- Soluciones ideales para viviendas, oficinas, locales de ocio, locales comerciales, hospitales, hoteles, escuelas, rehabilitación...

ROCKWOOL

www.rockwool.es - info@rockwool.es



**SOLICÍTENOS
MÁS INFORMACIÓN**



Figuras 5, 6 – Modelo geométrico tridimensional; vista interior (CATT-Acoustic)

Una vez importado el modelo (Figuras 5 y 6), asignamos (a partir de la identificación in situ de los materiales constructivos de acabado de la sala) a cada superficie sus correspondientes coeficientes de absorción y difusión en bandas de octava. Dada la imposibilidad de determinar en laboratorio dichos coeficientes, el ajuste de la simulación se ha realizado del siguiente modo: en primer lugar asignamos a cada material presente en la sala valores de coeficientes de absorción (y difusión) procedentes de las librerías de materiales del propio programa de simulación acústica, de los cuales aporta la referencia bibliográfica de la que han sido extraídos.

A continuación aplicamos a estos coeficientes desviaciones mínimas razonables de modo iterativo hasta conseguir que los tiempos de reverberación simulados (para cada frecuencia) no difieran más de un 10 % de los valores medidos in situ en el teatro, procedimiento de ajuste que se ha demostrado altamente satisfactorio en publicaciones anteriores [34].

Una vez ajustada la curva RT de la sala, comparamos los resultados de los parámetros G, C-80, RASTI y EDT obtenidos en nuestra simulación en tres puntos representativos del teatro con los valores de los mismos obtenidos en las medidas in situ. Adoptamos para ello valores por frecuencias en bandas de octava, no valores medios. A partir de es-

tas comparaciones, modificamos los coeficientes de ciertos materiales (sobre todo los presentes en el revestimiento interior de los palcos) hasta lograr una correlación excelente entre nuestro modelo virtual y la realidad arquitectónica.

3. Estudio acústico del teatro

3.1 Acústica geométrica

El estudio geométrico de la sala teatral nos ayuda a entender gráficamente muchos de los resultados que posteriormente hemos obtenido en la simulación acústica.

La Figura 7 muestra las reflexiones de primer orden que se producen en la planta del teatro. La geometría circular de la mitad posterior de la sala genera un comportamiento de las reflexiones similar al de las llamadas “galerías de susurros”, produciendo una clara focalización sonora en la zona posterior de la platea que se traduce en un incremento del valor de los parámetros energéticos en esas localidades. Este efecto de los teatros a la italiana ya ha sido puesto de manifiesto en publicaciones recientes [14].

Todos los espectadores tanto de la platea como de los cuatro niveles de palcos situados cerca del eje de simetría del teatro (incluyendo las galerías posteriores de los pisos tercero y cuarto) reciben el sonido directo emitido desde el escenario gracias al adecuado diseño de la sección longitudinal, como se observa en la Figura 8.

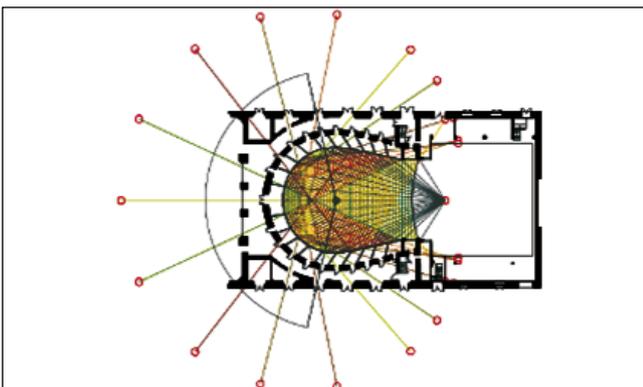


Figura 7 – Planta del teatro. Reflexiones de primer orden



Figura 8 – Secc. longitudinal. Sonido directo

Sin embargo toda sala a la italiana presenta una limitación a este respecto: no todos los espectadores del teatro reciben sonido directo ya que la parte lateral de los palcos de los distintos niveles tiene visión reducida del escenario, tanto más reducida cuanto más hacia los extremos se sitúe la localidad, y cuanto mayor sea la altura de la misma (Figura 9).

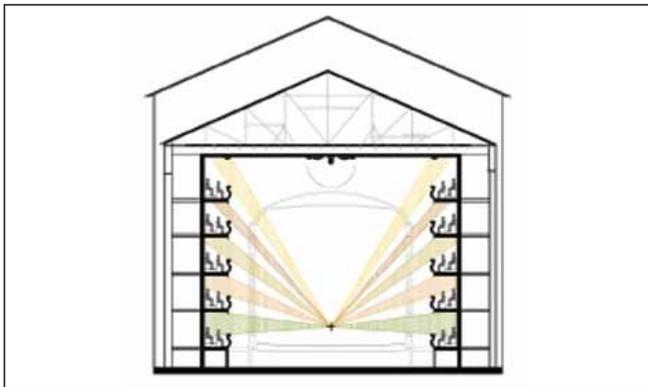


Figura 9 – Secc. transversal. Sonido directo

Esto compromete en gran medida la acústica en esas localidades, y la hace muy dependiente de las reflexiones que reciban. En este sentido el último piso resulta más favorecido que los pisos inferiores debido al ángulo de entrada de las reflexiones de primer orden procedentes del techo de la sala como se muestra en la sección transversal de la Figura 10.

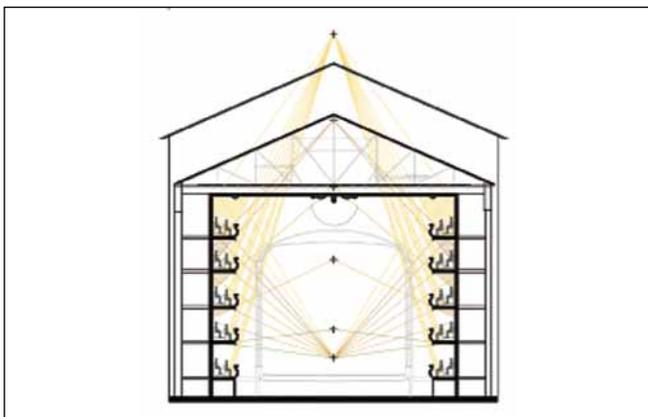


Figura 10 – Secc. transversal. Reflexiones de primer orden

Debido a ello, las localidades laterales del cuarto piso presentan parámetros energéticos y de inteligibilidad aceptables, pese a no recibir sonido directo del escenario. La zona lateral de los pisos tercero y segundo tendrá condiciones acústicas inferiores al carecer de sonido directo y contar con un ángulo de entrada de reflexiones directas del techo muy limitado.

El techo de la zona de audiencia es la mayor superficie libre del teatro, superficie que presenta además un acabado reflectante (enlucido con decoración en escayola), lo cual dota

a las reflexiones procedentes del techo de una importancia especial. Su decoración en relieve genera difusión sonora en altas frecuencias.

La Figura 11 muestra una sección longitudinal con el trazado de las fuentes secundarias del techo central y del arco de proscenio del teatro y el trazado de las reflexiones de primer orden procedentes de dichas superficies. Se observa una focalización clara en la mitad posterior de la platea incluyendo las localidades más retrasadas inicialmente desfavorecidas por hallarse “encerradas” bajo los palcos. La mitad delantera de la platea no recibe primeras reflexiones procedentes del techo. La zona central de palcos (la que se ve en la sección longitudinal) resulta igualmente muy favorecida por las reflexiones del techo plano de la sala.

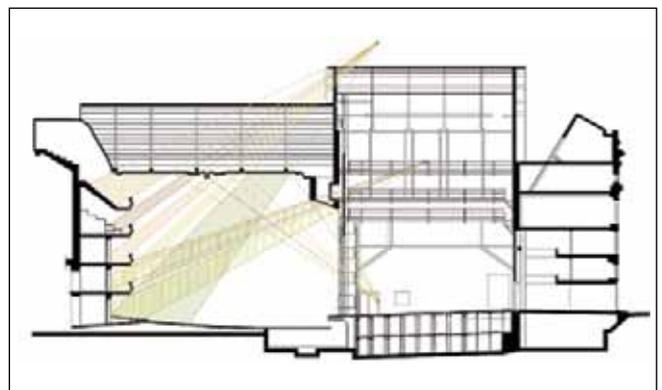


Figura 11 – Secc. longitudinal. Reflexiones de primer orden del techo central y del arco de proscenio

En cuanto a las reflexiones de segundo orden que genera el techo de la sala, en la Figura 12 observamos que tras impactar con el techo, numerosos rayos sonoros golpean los frentes de los palcos enviando sus reflexiones a la platea. Dado que los frentes de los palcos del teatro actúan en gran medida de difusores sonoros a medias y altas frecuencias debido a la geometría compleja en sección (curva-contracurva

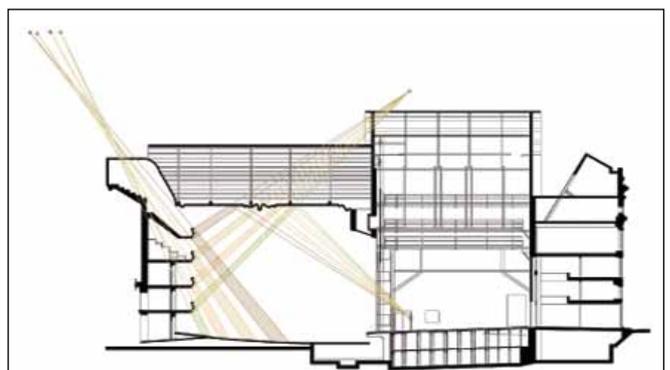


Figura 12 – Secc. longitudinal. Reflexiones de segundo orden procedentes del techo de la sala (1er impacto) y de los frentes de los palcos (2º impacto)

Figura 13) y a su ornamentación en relieve (ver la fotografía de la Figura 3), podemos afirmar que la totalidad de la platea recibe una reflexión relativamente difusa de segundo orden procedente de los frentes de los palcos que contribuye sin duda a proporcionar a las localidades del patio de butacas del teatro una adecuada impresión de espacialidad, de sonido envolvente, sin que se pueda identificar la procedencia de las reflexiones recibidas.

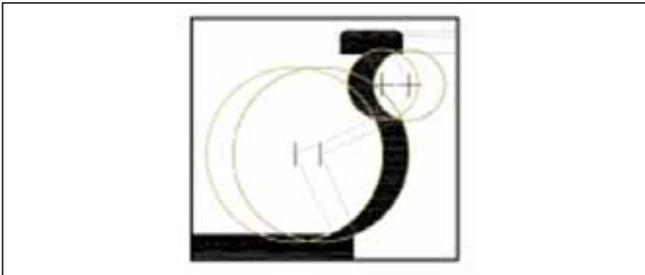


Figura 13 – Secc. tipo del frente de un palco. Esquema del trazado interior y exterior de la curva y contracurva

La dimensión del antepecho de los palcos cercano a 1 m de altura causará difusión a los sonidos cuya longitud de onda sea de ese orden o inferior, es decir, sonidos de frecuencias superiores a 330 Hz aproximadamente³. El resultado será algo similar a un frente de ondas difuso en sentido inverso recorriendo todo el volumen de la zona de audiencia (Figura 14).



Figura 14 - Comportamiento difuso de los palcos frente a las primeras reflexiones

3.2 Receptores: resultados y análisis

Para la caracterización completa del comportamiento acústico de la sala, hemos considerado en la simulación 17 receptores situados estratégicamente para obtener valores de los parámetros acústicos en todas las zonas de aforo del teatro (Tabla 2, Figura 15a,b,c). Dado que éste es simétrico respecto de un plano vertical que pase por su eje longitudinal, hemos situado los receptores en una mitad de la sala teatral (la izquierda) siendo los resultados obtenidos extrapolables a todo el recinto. En cada receptor hemos obtenido numéricamente los parámetros acústicos estudiados en 6 bandas de

frecuencia (125, 250, 500, 1k, 2k, 4k Hz.), los ecogramas y los valores de las caídas de nivel sonoro.

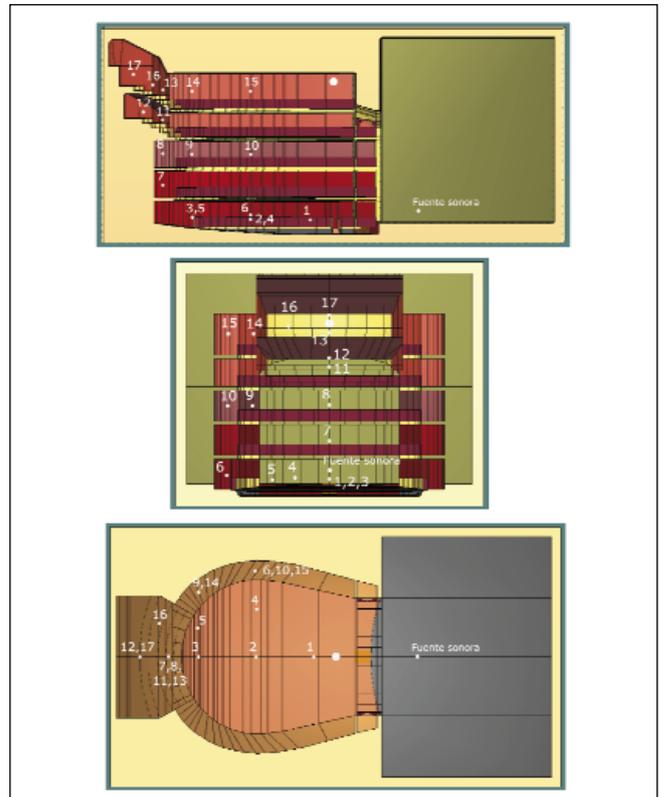


Figura 15

Tabla 2⁴ - Coordenadas de los receptores simulados y descripción de su ubicación

ZONA DE AFORO	Nº Receptor	Descripción de la localidad
PLATEA	1	Eje central de la sala, zona delantera
	2	Eje central de la sala, zona central
	3	Eje central de la sala, zona trasera
	4	Parte izquierda, zona centrada
	5	Parte izquierda, zona trasera
PALCOS PLATEA	6	Parte izquierda
PRIMER PISO	7	Eje central de la sala
	8	Eje central de la sala
SEGUNDO PISO	9	Trasera izquierda
	10	Lateral izquierda
TERCER PISO	11	Eje central de la sala
	12	Eje central de la sala, galería posterior
CUARTO PISO	13	Eje central de la sala
	14	Trasera izquierda
	15	Lateral izquierda
	16	Galería posterior, lateral izquierda
	17	Eje central de la sala, galería posterior

³ De modo aproximado estas frecuencias se corresponden con notas musicales superiores al Mi3 (Mi inferior de la clave de Sol), es decir, registro medio y agudo.

⁴ La Tabla 2 muestra en color rojo, los receptores ubicados en el eje de simetría de la sala. En color verde los ubicados en la zona izquierda (ver Figura 15).



Vibcon

Vibroacústica, control y aislamiento, S.L.



Buenas Vibraciones

VIBCON diseña, proyecta, fabrica...
para usted

Mediciones vibroacústicas

Mediciones de vibraciones y ruido.
Mediciones "in situ" del aislamiento al ruido
aéreo entre locales y fachadas.



Solución de problemas

Aislamiento de vibraciones de maquinaria
e instalaciones en edificios.
Cálculo y selección de montaje antivibratorio.



Fabricación propia

Fabricación y suministro de antivibraciones
y materiales para aislamiento de ruido estructural.
Bancadas flotantes.



Abat Marcet, 41-43
08173 Sant Cugat del Vallès (Barcelona)
Tel. 902 19 55 12 Fax. 93 675 58 90
vibcon@vibcon.net
www.vibcon.net

3.2.1 Ecogramas

Los llamados “Early echogram” (500 milisegundos iniciales) nos informan con detalle del nivel y del tiempo de llegada del sonido directo, de las reflexiones especulares de 1º y 2º orden y de las reflexiones difusas de 1er orden (Figura 16). Entre sus múltiples aplicaciones, el análisis de estas representaciones nos ha servido para corroborar la ausencia de un temible defecto acústico producido cuando entre dos reflexiones fuertes sucesivas hay un intervalo temporal excesivo: el ECO.

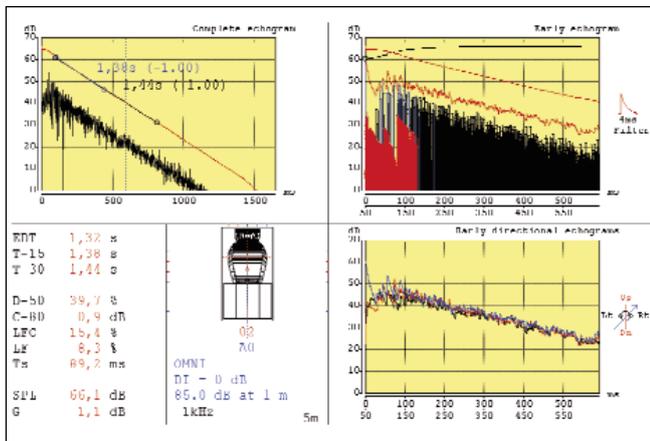


Figura 16 - Ejemplo de ecograma y parámetros acústicos para un receptor en una frecuencia determinada

Hemos estudiado estos ecogramas tempranos con sumo cuidado en la totalidad de los receptores, concluyendo que si bien no se producen ecos en la sala, la zona central medio-de-lantera de la platea se puede considerar la más expuesta a este fenómeno debido al retardo con el que recibe potentes reflexiones iniciales. Esto constituye una peculiaridad acústica de toda sala a la italiana, y se debe a la cercanía al escenario y a la distancia existente entre esas localidades y cualquier superficie reflectante.

3.2.2 Análisis de la Directividad

Las gráficas de directividad muestran la llegada secuencial del sonido directo y de las reflexiones contenidas en los primeros 500 milisegundos, a partir de lo cual hemos estudiado la percepción sonora en los 17 receptores colocados analizando en cada caso la procedencia de las reflexiones recibidas, su secuenciación temporal, fenómenos particulares de reflexión debidos a la morfología del teatro, y las sensaciones que todo ello producirá en un oyente situado en cada localidad simulada.

A modo de ejemplo veremos la interpretación de cuatro fases temporales iniciales (de las seis calculadas) del receptor nº 10 situado en un palco lateral del segundo piso en el lado iz-

quierdo del teatro (mirando hacia el escenario) a la frecuencia de 1000 Hz (Figura 17). La característica principal de este receptor es la no-visión directa de la fuente y por tanto la pérdida de gran parte del nivel sonoro que aporta el rayo directo. El oyente se encuentra mirando hacia el escenario; su oído izquierdo está orientado hacia el interior del palco, mientras su oído derecho se orienta hacia el volumen abierto del patio de butacas.

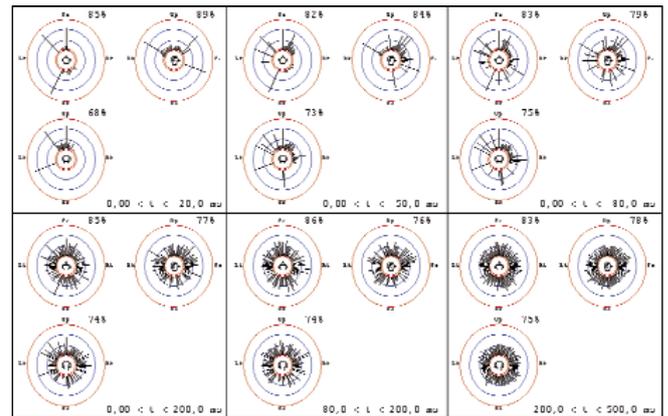


Figura 17 - Llegada del sonido directo y de las reflexiones contenidas en los primeros 500 ms; seis fases temporales; Receptor 10 (Frec. 1kHz)

- 0,0-20,0 ms: el receptor recibe de modo casi instantáneo tres “rayos sonoros” de igual intensidad: uno procedente de la fuente (tras sortear el antepecho del palco); otro procedente de la parte superior del arco de proscenio o del techo central; y el último es una reflexión trasera interior del palco.
- 20,0-50,0 ms: llegada de múltiples reflexiones de nivel sonoro inferior procedentes del techo central, que llegan mayoritariamente al oído derecho del oyente, provocando un desequilibrio en la percepción espacial de la sala.
- 50,0-80,0 ms: el oyente percibe reflexiones potentes procedentes del interior del palco (aunque sin duda atenuadas por la absorción de los materiales del mismo), y elevado número de reflexiones leves del techo, prevaleciendo siempre las que llegan al oído derecho por la orientación del oyente.
- 80,0-500,0 ms: predominio del campo difuso. La homogeneidad en la percepción se alcanza con anterioridad a los 200 ms (así ocurre en toda la sala).

3.2.3 Cálculo de Parámetros Acústicos

Representamos a continuación la variación frecuencial de los parámetros acústicos en diferentes puntos. En cada

gráfica se muestran aquellos receptores cuyos valores resultan significativos para la caracterización acústica del teatro. Tras cada gráfica comentamos los aspectos más relevantes sobre el comportamiento acústico del Teatro Principal que se derivan de la misma.

3.2.3.1 Parámetros temporales

El **Tiempo de Reverberación (RT₃₀)** es un parámetro prácticamente constante en el interior de un recinto cerrado. La desviación máxima entre valores extremos de RT para una misma frecuencia se sitúa entorno a 0,15 s, o lo que es lo mismo, apenas un 10 % de diferencia. El RT_{mid} calculado según Beranek [30] como media aritmética de las bandas de 500 y 1000 Hz, adopta un valor de 1,46 dB.

La **Curva Tonal** (Figura 18) muestra una caída descendente del RT desde las bajas hacia las altas frecuencias (de 1,55 s de valor medio a bajas frecuencias hasta 1,30 s a altas).

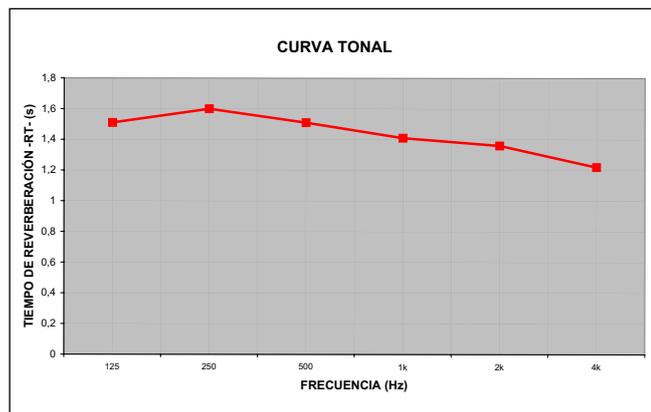


Figura 18 - Curva Tonal (variación de RT con la frecuencia; valores medios).

A partir de los valores medios de RT en la sala teatral (curva tonal) podemos extraer los parámetros de **Calidez (BR)** y **Brillo (Br)**. En el Teatro Principal, trabajando con valores medios de la sala [30], se obtiene:

Calidez (BR) = 1,07; Brillo (Br) = 0,88;

Tenemos por tanto una curva tonal muy adecuada para la música y para la palabra, con buenos valores de Calidez que indican una presencia de graves ligeramente superior a medias frecuencias, y con un valor de Brillo adecuado que nos informa de la riqueza en armónicos de la sala teatral.

3.2.3.2 Parámetros energéticos

El teatro presenta valores de **Fuerza Acústica (G)** adecuados (Figura 19), que indican que las reflexiones amplifican levemente el sonido. Los valores máximos son

muy positivos (aproximadamente 4 dB de amplificación), y los valores medios oscilan entre 0,3 y 2 dB. Los valores mínimos se sitúan entre 0 y -1,4 dB, que no resultan excesivamente bajos teniendo en cuenta su condición de mínimos.

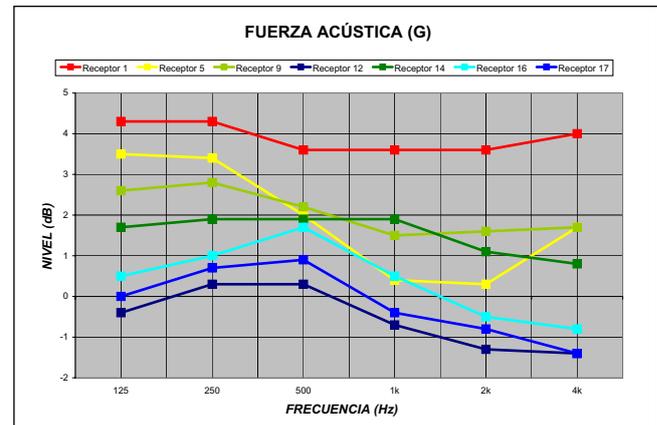


Figura 19 - Fuerza Acústica (G).
Receptores nº 1, 5, 9, 12, 14, 16, 17.

El receptor situado en el tercio delantero de la platea (receptor 1) registra el G más elevado debido a su cercanía a la fuente sonora (predominio del campo directo).

La curvatura del teatro (herradura) focaliza las reflexiones iniciales hacia la parte trasera de la sala como la acústica geométrica nos ha mostrado en la Figura 7 (valor de amplificación sonora excelente en el receptor 5). Este mismo fenómeno se reproduce en los pisos superiores, de modo que los valores máximos de G en cada planta se dan en los receptores situados en la zona de mayor anchura de la sala (receptores 9, 14)

Debido a la dependencia de la distancia a la fuente y de la llegada de reflexiones que presenta el parámetro G, los receptores más alejados del escenario, los de la galería posterior del tercer piso (receptor 12) y del cuarto piso (receptores 16 y 17) muestran valores negativos a frecuencias altas.

Se ha estudiado ampliamente el SPL, y las conclusiones extraídas son similares a las que proporciona el parámetro G.

Los valores de **Claridad Musical C80** se sitúan todos ellos dentro de los márgenes recomendados. En la Figura 20 observamos que los valores máximos se alcanzan en los receptores 5 (lateral platea), 7 (primer piso de palcos centrado) y 12 (galería del tercer piso). Son receptores muy heterogéneos, con pocos elementos comunes entre sí.

Los receptores 5 y 7 reciben múltiples potentes reflexiones tempranas debido a la geometría en herradura de la

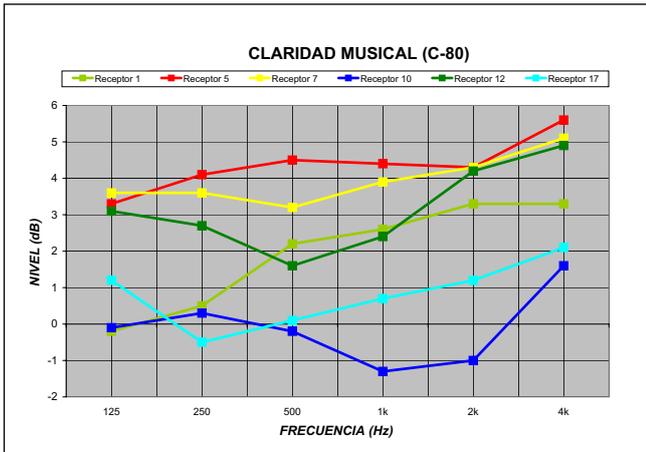


Figura 20- Claridad Musical (C80).
Receptores nº 1, 5, 7, 10, 12, 17.

sala. Sin embargo sorprenden los elevados valores de C80 en el receptor 12, uno de los más desfavorecidos en cuanto a la recepción de niveles sonoros (SPL, G) por su ubicación en el interior de la galería del tercer piso. La explicación a este fenómeno la encontramos al analizar sus ecogramas: los valores elevados de C80 se deben a la casi inexistencia de reflexiones especulares de orden 1 y 2 transcurridos aproximadamente 90 ms de la llegada del sonido directo. Por tanto, no es que reciba potentes reflexiones en los primeros 80 ms, sino que prácticamente no recibe ninguna después de los 90 ms al hallarse confinado en el volumen semi-absorbente de la galería posterior del tercer piso.

Los valores menores de C80 se alcanzan en los receptores 1 (platea frente al escenario), 10 (lateral izquierdo del segundo piso de palcos) y 17 (fondo de la galería del cuarto piso). Los receptores 1 y 10 reciben potentes reflexiones especulares de orden 1 y 2 procedentes del volumen de la zona de audiencia pasados los 80 primeros milisegundos tras la llegada del sonido directo, lo cual provoca estos valores bajos de C80 (el receptor 1 recibe reflexiones especulares potentes hasta pasados incluso los 200 ms).

En el receptor 17 de la galería del piso cuarto, los bajos valores de C80 se deben al muy escaso número de reflexiones especulares y de reflexión difusa recibida en los primeros 80 milisegundos, y a la llegada de 3 ó 4 potentes reflexiones especulares 10 milisegundos después según reflejan sus ecogramas.

Respecto a la **Definición D50**, varios puntos de la sala muestran valores ligeramente inferiores al 50 % requerido para una correcta inteligibilidad de la palabra, del discurso hablado (Figura 21).

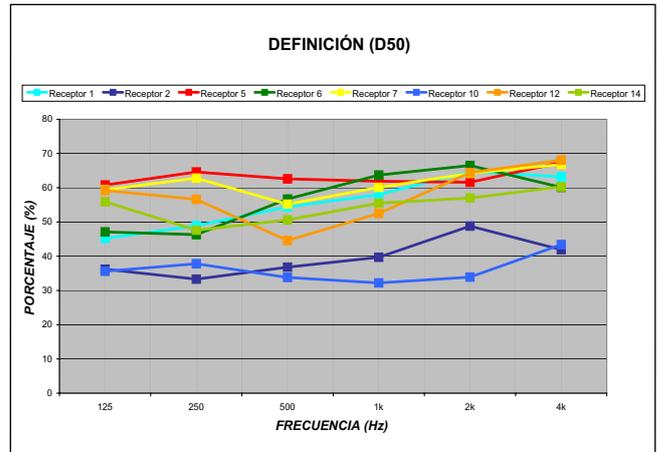


Figura 21 - Definición (D50).
Receptores nº 1, 2, 5, 6, 7, 10, 12, 14.

Los receptores con valores inferiores de D50 son los números 2 y 10. En el receptor 2 (centro de platea) no nos sorprende debido al retraso con el que recibe reflexiones especulares tempranas por estar alejado de paredes cercanas (basta pensar en la propia definición del parámetro).

En el ecograma del receptor 10 se aprecia que en los 50 milisegundos iniciales no sólo no se recibe el sonido directo (el antepecho del palco limita la visión directa de la fuente) sino que además llega un número francamente reducido de reflexiones especulares de 1º o 2º orden. Esto explica que proporcionalmente la energía recibida en este tiempo inicial (50 ms) suponga únicamente el 36% (aprox.) de la energía total recibida por el receptor.

Los mayores valores de D50 se producen en los receptores 5, 7 y 14 por la llegada inicial de un gran porcentaje de la energía total. Las frecuencias altas de los receptores 1, 6 y 12 alcanzan igualmente altos valores elevados de Definición. Debido probablemente a la mayor absorción de frecuencias medio-altas que presenta la sala y a la absorción de altas frecuencias por el rozamiento del aire⁵, las reflexiones tardías que se reciben en estos receptores han perdido más nivel sonoro en altas frecuencias que en medias y bajas, lo cual justifica los valores ligeramente superiores de D50 a partir de 1000 Hz.

3.2.3.3 Parámetros espaciales

Los valores Eficiencia Lateral (LF) en la platea son bajos (receptores 2, 4) sobre todo en la zona que queda fuera del conjunto de reflexiones dibujado por el espacio cóncavo central. El valor mínimo de LF se alcanza en el tercio delantero de la platea (receptor 1) por su proximidad y alineación con la fuente sonora (campo directo). También se registran valores bajos en las galerías posteriores de los pisos tercero y cuarto (receptores 12, 16, 17).

⁵ El software de simulación tiene en cuenta la absorción del aire en los cálculos.

Los puntos ubicados en el eje longitudinal de los diferentes pisos de palcos (7, 8, 11, 13) presentan niveles de LF correctos, cumpliendo ampliamente los márgenes recomendados.

Se registran valores muy elevados nuevamente en el tercio posterior de la platea (receptor 5; del orden del 40 %). Estos oyentes reciben numerosas reflexiones tempranas laterales canalizadas por la curvatura de la sala. También presentan niveles altos las zonas laterales de los palcos (receptores 9, 10, 14 y 15).

Se ha estudiado el comportamiento en el teatro del parámetro LFC. Los valores son ligeramente superiores a los de LF, pero las conclusiones extraídas de su estudio son similares a las que hemos descrito sobre el parámetro LF.

Los valores de “1-IACC_{E3}” varían desde 0.4 en las filas cercanas a la fuente hasta 0.7 en el tercio posterior de platea. Mientras en la zona posterior los valores son constantes en cada fila, en la mitad delantera de la sala las localidades no centradas muestran valores mejores de impresión espacial. Esto se debe a que la simetría geométrica de la sala y la alineación frontal con la fuente empeoran la impresión espacial de las localidades centradas.

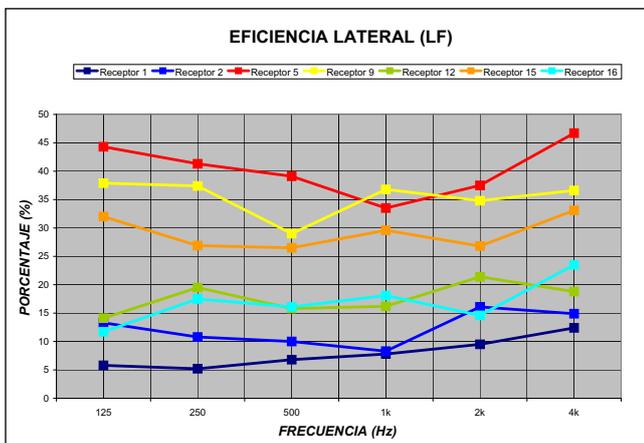


Figura 22 - Eficiencia Lateral (LF).
Receptores n° 1, 2, 5, 9, 12, 15, 16.

Los valores de “1-IACC_{L3}” se sitúan constantes cercanos a 0.8 en toda la platea, dado que principalmente son las reflexiones de orden uno mostradas en el apartado de acústica geométrica las que establecen diferencias de percepción entre ambos oídos.

3.2.3.4 Parámetros de inteligibilidad

Existe una clara correspondencia entre los valores de RASTI y de STI (Figura 23) con los valores y el análisis del parámetro energético D50. Las zonas de la sala con una mejor inteligibilidad para espectáculos teatrales es la parte trasera lateral de la platea, los palcos de platea, y el primer piso de palcos en su zona central.

Dado que los resultados de los parámetros G, RT y C80 son adecuados, nos sorprende que los niveles de inteligibilidad (D50 y RASTI) no alcancen valores superiores. Sin embargo, a partir de un estudio en profundidad de la señal captada en las medidas “in situ” y de los ecogramas obtenidos en cada uno de los receptores simulados, hemos llegado a unas conclusiones referentes al origen de esa baja inteligibilidad.

En los ecogramas obtenidos en la medición apenas se significan reflexiones iniciales de primer o segundo orden que permitan caracterizar con claridad la señal recibida; los micrófonos colocados en la platea captan una especie de “continuidad” del sonido que imposibilita prácticamente la detección de las primeras reflexiones. Lo curioso es que esto ocurre pese a que el RT se sitúa en torno a 1,45 segundos. Pensamos que la causa de ello es la elevadísima difusión que presenta la sala teatral en todas las frecuencias⁶, lo cual sumado al carácter absorbente de los palcos impide la aparición de reflexiones especulares fuertes que se signifiquen en el ecograma por encima del campo homogéneo. Este fenómeno se puede traducir en unas proporciones energéticas entre el inicio de un ecograma y el ecograma completo que justifica los valores bajos de D50 y en consonancia con ello los valores bajos de RASTI.

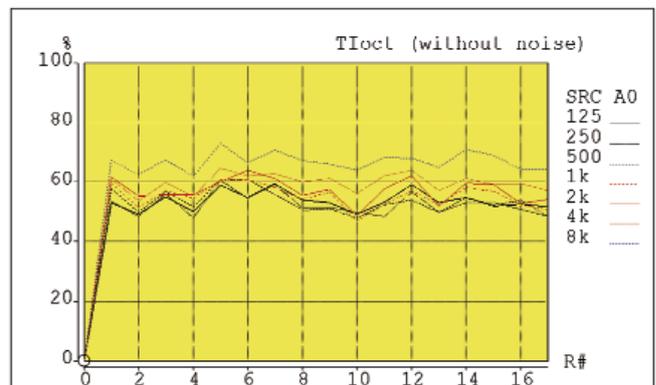


Figura 23 - Parámetro STI. Valores porcentuales por frecuencia en los 17 receptores estudiados (eje abscisas)

⁶ Difusión debida: a bajas frecuencias por la geometría en herradura y por la presencia de palcos; a medias por la curva-contracurva de la sección de los frentes de los palcos y por la presencia de público; a altas frecuencias por la decoración de la sala, butacas, molduras del techo, lámpara, etc.

La nueva generación de sonómetros

No es solo una novedad. Es la nueva generación de sonómetros, una nueva presencia en el mundo del ruido ambiental y las vibraciones.

Sin complejidades, está diseñado para hacer la vida más fácil; sin exigencias, trabaja para usted; y además, se adapta a cualquier idioma.

Hecho a su medida

Con más de 60 años como pioneros dentro del mundo del sonido y la vibración, Brüel & Kjær presenta su 4ª generación innovadora de instrumentos manuales para la medida de vibraciones y sonido.

El desarrollo de esta última generación -centrada en el Tipo 2250 - está inspirado completamente en las exigencias de usuarios que participan en seminarios y reuniones en todo el mundo. El hardware ha sido diseñado para cumplir las exigencias específicas ergonómicas de los usuarios, y el software de aplicación abarca todo sobre ruido ambiental, resolución de problemas, salud laboral y control de calidad.

Los paquetes de programas de software se pueden adquirir de forma separada, por lo que usted conseguirá lo que necesita justo cuando lo necesite y además será más fácil adaptarnos a sus exigencias si éstas cambian. De esta forma, la plataforma le asegura su inversión ahora y en el futuro.

Creado, construido y hecho para usted personalmente, verá como el 2250 marca una gran diferencia en su trabajo y en todas sus tareas de medición.

¡Consúltenos!

Para más información, contacte con Brüel & Kjær Ibérica, S.A.

Sede social:

Teide, 5 28700 San Sebastián de los Reyes (Madrid)
Tel.: 91 6590820 Fax: 91 6590824

Delegación:

Valencia, 84-86 interior 08015 Barcelona
Tel.: 93 2264284 Fax: 932269090

www.bksves.com email: bruelkjaer@bksv.com

Tipo 2250

Brüel & Kjær 



PULSE *multi-analizadores*



Tipo 2260

Las nuevas unidades de adquisición 3560-L y 3560-B se añaden a la **familia PULSE** haciendo posible elegir el modelo exacto que usted necesita.

Desde la medida más sencilla, de un solo canal, hasta las tareas de holografía acústica más complejas en tiempo real multicanal, todas las aplicaciones de acústica y vibraciones están cubiertas con PULSE, un sistema abierto, flexible y 100% compatible con otras aplicaciones.

Con más de 5.000 sistemas vendidos (cifras de abril 2004), PULSE se ha convertido en la plataforma de análisis de ruido y vibraciones de más éxito y mayor crecimiento en el mercado.

2260 Observer es un sonómetro y analizador portátil capaz de realizar todas las medidas y análisis que normalmente se utilizan en la evaluación de ruido en comunidades y entornos de trabajo. 2260 Observer cumple la nueva norma sobre sonómetros IEC 61672, así como las normas IEC anteriores (60651 y 60804) y las normas ANSI más recientes, además de tener la aprobación de modelo.

Todos los parámetros de banda ancha y valores estadísticos se miden en paralelo, de forma que no se pierde ningún detalle: todos los parámetros están ahí, y sólo hay que elegir qué es lo que se desea examinar, ahora o más tarde.

2260 *investigator*

3.3 Mapeados de Parámetros Acústicos

Hemos obtenido mapeados de colores bidimensionales y tridimensionales que indican las tendencias de cada parámetro y los contrastes entre las diferentes zonas de la sala, sin entrar en valores exactos como se ha hecho con los receptores. Estas representaciones aportan una información muy valiosa sobre el “comportamiento acústico” del teatro de un modo global.

A modo de ejemplo mostramos los mapeados del SPL registrado (Figura 24) (bidimensional) y de la Claridad Musical C80 (Figura 25) (tridimensional).

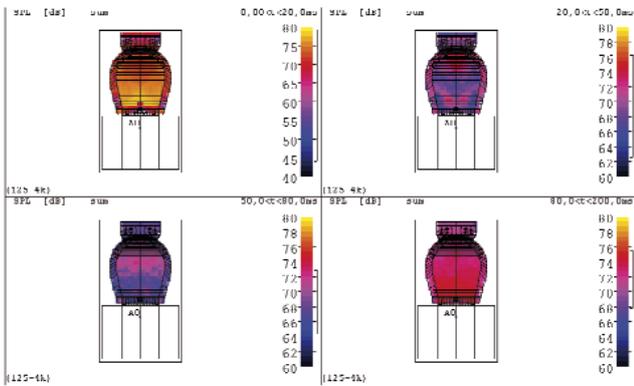


Figura 24 - Representación bidimensional de SPL en las cuatro franjas temporales estudiadas (platea + cuarto piso)

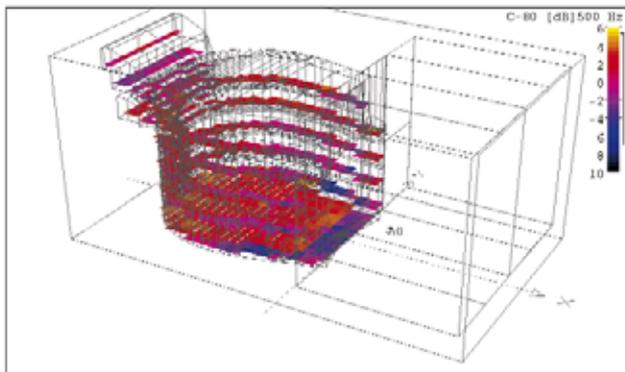


Figura 25 - Representación tridimensional de C-80. Frecuencia: 500 Hz

4. Conclusiones

Con este trabajo creemos haber contribuido a ampliar el conocimiento sobre el comportamiento acústico de la tipología teatral barroca italiana, a la cual se adscribe el Teatro Principal de Valencia. Una fiel reproducción virtual de este teatro nos ha permitido analizar su comportamiento acústico de modo exhaustivo, y constituye el primer paso de una investigación más ambiciosa que estamos llevando a

cabo sobre su historia y su acústica en morfologías precedentes.

La respuesta acústica de esta sala se debe fundamentalmente a su geometría en herradura, a su volumen y a la distribución del aforo en platea y palcos perimetrales en altura; es decir, a los elementos esenciales de la tipología teatral italiana. Por ello, las conclusiones que a continuación enumeramos son extrapolables a salas de similares características:

1. Los niveles sonoros percibidos (**SPL**) resultan adecuados mostrando valores mayores en los puntos cercanos al escenario y en las zonas laterales del tercio posterior de la platea y de los palcos. En estos asientos la acústica geométrica nos ha mostrado que se produce una evidente concentración de reflexiones de primer y segundo orden.

Este fenómeno se refleja también en el grado de amplificación de la sala **G**, que presenta valores correctos de modo genérico, y óptimos en esas zonas. En los palcos laterales de los pisos superiores, la Fuerza Acústica está condicionada por la visibilidad parcial de la fuente, por el limitado número de reflexiones que inciden en su interior y por el carácter absorbente de los mismos. La galería del cuarto piso muestra mejores valores que la del tercero debido a su mayor altura libre y al adecuado diseño en sección de su techo.

2. Para el estudio de los tiempos de caída de la señal sonora, hemos analizado los parámetros temporales **RT₃₀**, **BR** Y **Br**. La reverberación es bastante homogénea en todas las localidades situándose en torno a 1,45 s en condiciones de sala vacía. La curva tonal resulta muy adecuada para la audición musical y para el discurso hablado, con buenos valores de calidez (**BR** = 1.07 - presencia de sonidos graves) y brillo (**Br** = 0.88 - presencia de altas frecuencias). La acústica resulta muy apropiada para representaciones teatrales y operísticas cumpliendo así con los objetivos perseguidos en el proyecto inicial del Teatro Principal. La disminución de la reverberación que se produce cuando la sala está llena de público dará como resultado una audición levemente seca para conciertos camerísticos o de orquesta barroca o clásica, y sin duda una acústica carente del **RT** necesario para la interpretación de conciertos sinfónicos con repertorio romántico propio del siglo XIX.

No se producen **ECOS** en el teatro, aunque las localidades centrales de la platea se encuentran en una situación más expuesta debido al retardo con el que reciben reflexiones iniciales, característica propia de la tipología del recinto.

3. Las localidades que muestran una mayor Claridad Musical **C80**, son nuevamente las situadas en el tercio

posterior de la platea. En palcos, su valor es mayor en los pisos superiores, hecho que atribuimos a la mejora del ángulo de entrada de reflexiones tempranas procedentes del techo. Encontramos localidades con elevada Claridad pese a recibir bajos niveles sonoros en la galería posterior del tercer piso, debido al carácter relativo inherente a la definición del parámetro (proporción entre energías, no valores absolutos).

4. El **campo homogéneo** en la sala se alcanza antes de los 200 ms tras la emisión sonora. El estudio gráfico de la secuencia temporal en diferentes puntos del teatro (directividad), muestra que la sensación de espacialidad o amplitud varía de forma notoria. Existen desequilibrios en la percepción de los oyentes situados en los palcos laterales debido a la diferente orientación de sus oídos.

Los parámetros de espacialidad **LF**, **LFC**, **IACC_{E3}**, **IACC_{L3}** registran valores comprendidos en los márgenes recomendados. La geometría en herradura potencia la sensación de amplitud y espacialidad por concentración de reflexiones tempranas en las zonas laterales del tercio posterior de cada piso, ligeramente por detrás del punto en que la sala alcanza su máxima anchura. En esos puntos los parámetros espaciales son mejores que en el eje de simetría del teatro. Este fenómeno se manifiesta también en la platea.

5. Los parámetros de inteligibilidad del discurso hablado, **D50** (energético), **STI** y **RASTI**, no alcanzan valores de excelencia en ningún punto. Los resultados mejores se obtienen una vez más en el tercio posterior de la platea, en el frente central de palcos y en la zona media de la herradura. La galería del tercer piso registra mejor inteligibilidad que la del cuarto, pese a tener niveles sonoros inferiores. Este hecho se debe a la elevada difusión que presenta la sala en todas las frecuencias, lo cual, sumado al carácter absorbente de los palcos, impide la aparición de reflexiones especulares fuertes que se signifiquen en el ecograma por encima del campo homogéneo, reflexiones que serían las responsables de respaldar el sonido directo en los milisegundos iniciales, mejorando así la inteligibilidad.

5. Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado en el marco de los Proyectos Coordinados pertenecientes a los Planes Nacionales I+D+I del Ministerio de Ciencia e Innovación cuyas referencias son BIA2003-09306-C04 y BIA2008-05485.

Su realización ha sido posible gracias al respaldo de la Diputación Provincial de Valencia propietaria del teatro, de la entidad “Teatros de la Generalitat” encargada de la gestión del mismo y del Vicerrectorado de Cultura de la Universidad Politécnica de Valencia, que desde el primer momento apoyó sin reservas esta investigación.

6. Referencias

- [1] Barba, A.: El Teatro Principal de Valencia. Evolución arquitectónica desde sus inicios y análisis de su acústica actual, DCADHA, Universidad Politécnica de Valencia; Trabajo de investigación, 2008.
- [2] Prodi, N.; Velecka, S.: A scale value for the balance inside an historical opera house. *J. Acoust. Soc. Am.* 117, 2005, pp. 771–779.
- [3] Iannace, G.; Ianniello, C; Maffei, L.; Romano, R.: Acoustic measurements in the “Teatro Verdi” in Salerno (Italy), 19th International Congress on Acoustics, Madrid España, 2007
- [4] Prodi, N.; Pompoli, R.; Parati, L.: The acoustics of the municipal theatre in Modena, 19th International Congress on Acoustics, Madrid España, 2007
- [5] Bassuet, A. A. A.: Acoustics of a selection of famous 18th century opera houses: Versailles, Markgräfliches, Drottningholm, Schweitzingen. *International Congress Acoustics08-Paris*, 2008
- [6] Prodi, N.; Pompoli, R.: The acoustics of three Italian historical theatres: the early days of modern performance spaces, XXXI Congreso Nacional de Acústica “Tecnicaústica 2000”, Madrid, 2000
- [7] Hidaka, T.; Beranek L.: Objective and subjective evaluations of twenty-three opera houses in Europe, Japan, and the Americas. *J Acoust Soc Am* 2000; 107, 368-383
- [8] Gade, A. Ch. et al.: Acoustical Problems in Orchestra Pits; Causes and Possible Solutions, 17th International Congress Acoustics, Roma, 2001
- [9] Parati, L.; Prodi, N.; Pompoli, R.: Computer model investigations on the balance between stage and pit sources in opera houses. *Appl. Acoust.* 68, 2007, pp. 1135–1155
- [10] Sato, S.; Sakai, H.; Prodi, N.: Subjective preference for sound sources located on the stage and in the orchestra pit of an opera house. *J. Sound Vib.* 258, 2002, pp. 549–561

- [11] Facondini, M.; Bignozzi, L.: Variable sound orchestra pit for the "Teatro Comunale" of Bologna, 17th International Congress Acoustics, Roma, 2001
- [12] Tronchin, L.; Shimokura, R.; Tarabusi, V.: Variation of sound properties in the stage and orchestra pit of two European opera houses, Forum Acusticum, Budapest, 2005
- [13] Stauskis, V. J.: Changes in Subjective Acoustical Indicators taking place during the interaction of the Auditorium and Stage Volumes in an Opera Theater, Forum Acusticum, Budapest, 2005
- [14] Iannace, G.; Ianniello, E.: Changes in Subjective Sound-focusing effects in the plan of horse-shoe shaped opera theatres, International Congress Acoustics08-Paris, 2008
- [15] Arau, H.: Caracterización acústica de diversas salas de concierto, ópera y teatro, Rev. Acústica 3º-4º trimestre, 1996
- [16] Arau, H.: Caracterización acústica de diversas salas de ópera y teatro, Congreso Nacional de Acústica "TecnAcústica", Barcelona, 1996
- [17] Daumal, F.; Möller, D.; Beckers, B.: Acoustic secrets of the Liceu, 11th Internacional FASE Symposium, Valencia, 1994
- [18] Ramón, A.: "Els inventors del teatre a la italiana" en 3ZU. Revista d'Arquitectura, núm. 4, junio de 1995, pp. 84-91
- [19] León, A. L.; León, J.: Los índices de cualificación acústica en la rehabilitación de teatros: su cálculo por programas de simulación por ordenador, 32º Congreso Nacional de Acústica "TecnAcústica 2001", La Rioja, 2001
- [20] León, A.L. et al. : La valoración acústica en los proyectos de rehabilitación de teatros. El ejemplo andaluz. Congreso Iberoamericano de Acústica [CD Rom]. Madrid, 2000
- [21] León, Á.L.; Sendra, J.J.; Navarro, J.; Zamarreño, T.: Acústica y rehabilitación en teatros de Andalucía, Sevilla, Secretariado de publicaciones de la Universidad de Sevilla, 2007.
- [22] Bérchez, J.; Corell, V.: Catálogo de Diseños de Arquitectura de la Real Academia de BB. AA. de San Carlos de Valencia 1768-1846, Colegio Oficial de Arquitectos de Valencia y Murcia-Xarait, Valencia, 1981
- [23] Lamarca, L: El Teatro de Valencia desde su origen hasta nuestros días, Valencia, 1840, p. 45.
- [24] Barba, A. et al.: Resonant cavities and acoustics vases in Italian Opera Houses; the "Teatro Principal" of Valencia and eighteenth century treatises about theatres, International Congress Acoustics08-Paris, 2008
- [25] Barba, A.; Lacatis, R.; Giménez, A.; Romero, J.: Acoustics vases in ancient theatres: disposition, analysis from the ancient tetrachordal musical system, International Congress Acoustics08-Paris, 2008
- [26] UNE-EN ISO 3382: Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos, 2001
- [27] Giménez Pérez, A. et al.: Estudio de la evolución de parámetros acústicos que miden la calidad de salas de conciertos, 32º Congreso Nacional de Acústica "TecnAcústica 2001", La Rioja, 2001
- [28] Barron, M.: Spatial impression due to early lateral reflections in concert halls: the derivation of a physical measure, Journal of Sound and Vibration nº 77 (2), Elsevier, 1981, pp. 211-232
- [29] Barron M. et al. Energy relations in concert auditoriums I. J Acoust Soc Am 1988; 84(2)
- [30] Beranek L.: Concert hall and opera houses. New York: Springer Verlag; 2004
- [31] Kürer, R.: Zur Gewinnung von Eizahlkriterien bei Impulsmessungen in der Raumakustik, Acustica nº 21, 1969, p.370
- [32] Marshall, A. H.: An acoustics measurement program for evaluating auditoriums based on the early/late sound energy ratio, New York, J.A.S.A., 1994, pp.2251-2261
- [33] CATT-Acoustic v 8.0b, user's manual: Room Acoustics prediction and desktop auralization, CATT, Gothenburg (SWEDEN), 2002
- [34] Galindo M.; Zamarreño T., Girón, S.: Measured acoustic parameters versus predicted ones in two Gothic-Mudejar churches. Número especial de la Revista de Acústica (CD-Rom), Forum Acusticum Sevilla 2002.