

## ¿CÓMO “SUENA” UN TEATRO A LA ITALIANA? EL TEATRO PRINCIPAL DE VALENCIA.

PACS: 43.55.Gx

**Barba Sevillano, A.<sup>1</sup>; Giménez Pérez, A.<sup>1</sup>; Segura García, J.<sup>2</sup>; Lacatis, R. G.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Valencia, Dpto. Física Aplicada. Camino de Vera S/N

<sup>2</sup> Instituto de Robótica, Universitat de Valencia

{[arbarse@fis.upv.es](mailto:arbarse@fis.upv.es), [agimenez@fis.upv.es](mailto:agimenez@fis.upv.es)}

### ABSTRACT

The “Teatro Principal” of Valencia is one of the oldest Italian Opera Houses in Spain. It has not experimented important typological changes throughout its history (from 1833). 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, we present a detailed acoustics characterization of the different audience zones in Italian Opera Houses.

### RESUMEN

El Teatro Principal de Valencia es uno de los teatros a la italiana de España en activo de mayor antigüedad, con el valor añadido de no haber experimentado intervenciones arquitectónicas que modifiquen de forma relevante su morfología desde 1833. Esto lo convierte en una sala excelente para abordar un estudio profundo del comportamiento acústico de la tipología teatral a la italiana extrapolable a otros teatros de tipología similar. Tras realizar una rigurosa investigación de la evolución histórica del edificio, tomar medidas acústicas normalizadas en el teatro y elaborar un modelo virtual del mismo, hemos realizado una detallada caracterización acústica de las distintas zonas de aforo de la sala estudiando separadamente cada uno de los principales parámetros acústicos.

### 1. INTRODUCCIÓN

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). Inaugurado en 1832, el Teatro Principal ha permanecido sin cambios tipológicos relevantes a lo largo de la historia, lo cual lo convierte en una sala excelente para abordar un estudio exhaustivo del funcionamiento acústico de la tipología arquitectónica operística a la italiana.

En primer lugar realizaremos una descripción geométrica del teatro y explicaremos el proceso de medición acústica in situ realizado conforme a la normativa internacional. A continuación exponemos las características del modelo virtual de la sala que se ha elaborado y el ajuste de sus coeficientes una vez exportado a un software de simulación acústica. Con todo ello analizaremos el comportamiento de los principales parámetros acústicos en las diferentes zonas de aforo de una sala teatral a la italiana, buscando la obtención de valores y márgenes en gran medida extrapolables a otras salas de esta tipología arquitectónica.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL RECINTO TEATRAL

El Teatro Principal de Valencia fue proyectado por el arquitecto italiano Felipe Fontana en 1774 y tras numerosas modificaciones se inauguró en 1832. Se trata de una sala en herradura con un aforo de 1226 localidades distribuidas en platea y cuatro niveles de palcos y asientos de los cuales los dos últimos disponen de una galería posterior. Esta misma sala en el año 1840 llegó a acoger un aforo de 1871 espectadores [1].

Los datos geométricos del teatro se muestran en la Tabla 1. Los materiales de acabado 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, etc. (Figs. 1, 2). 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.

Tabla 1 – Datos Geométricos del Teatro Principal de Valencia

ZONA DEL TEATRO	DATOS GEOMÉTRICOS	
Escenario	<i>Anchura libre máxima</i>	24.65 m
	<i>Profundidad</i>	17.55 m
	<i>Ancho de boca escénica (embocadura)</i>	12.23 m
	<i>Altura libre</i>	19.00 m
	<i>Volumen</i>	7350 m <sup>3</sup>
	<i>Pendiente</i>	3.3 %
Zona de público	<i>Longitud (fondo desde boca)</i>	21.80 m
	<i>Anchura máxima</i>	20.12 m
	<i>Altura máxima</i>	16.00 m
	<i>Volumen</i>	6450 m <sup>3</sup>
	<i>Altura Piso 1*</i>	3.72 m
	<i>Altura Piso 2*</i>	6.60 m
	<i>Altura Piso 3*</i>	9.60 m
Foso orquestal	<i>Altura Piso 4*</i>	12.34 m
	<i>Superficie (variable)</i>	de 70 m <sup>2</sup> a 100 m <sup>2</sup>
Aforo	<i>Profundidad respecto a la platea</i>	1.70 m
1226 espectadores (460 + 226 + 156 + 232 + 152)		
* de cota inferior de la platea, a cara superior del forjado		

Bajo el foso orquestal se realizó en el siglo XIX una cámara de aire en la cual se ubicaron en torno a un centenar de vasijas cerámicas perforadas en su base 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 [2] [3].



Figs. 1 y 2 - Teatro Principal de Valencia. Fotografías interiores

### 3. MEDICIÓN ACÚSTICA IN SITU: EQUIPAMIENTO Y PARÁMETROS

La obtención de medidas acústicas en la sala teatral se ha llevado a cabo en condiciones de sala vacía mediante el método *Impulse response* ("respuesta al impulso") siempre de acuerdo con la norma ISO 3382 [4] que establece la metodología normalizada para la realización de mediciones acústicas en recintos. Las características técnicas del equipamiento empleado han sido descritas ampliamente en publicaciones anteriores [5] [6]. Se tomaron 94 puntos de medida, muy por encima de los exigidos por la norma ISO 3382, lo cual nos ha permitido en fases posteriores del trabajo un ajuste exhaustivo de la simulación virtual elaborada y un control completo del comportamiento del sonido en la sala.

Los parámetros calculados a partir de las medidas acústicas 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 [7], 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 [8] [9] [10] [11] [12].

### 4. SIMULACIÓN ACÚSTICA DE LA SALA

Conocidos los valores de los parámetros de calidad sonora del Teatro Principal, elaboramos un modelo virtual tridimensional del mismo con el programa AutoCAD formado por 1470 superficies y lo exportamos al software de simulación acústica CATT-Acoustic-v8 [13] (Fig. 3), en el cual asignamos 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 partiendo de las librerías de materiales del propio programa de simulación, a cuyos coeficientes aplicamos desviaciones mínimas hasta conseguir que los tiempos de reverberación simulados (por frecuencia) no difieran más de un 10 % de los valores medidos in situ [14].

Tras ajustar la curva RT de la sala, comparamos los valores de los parámetros G, C-80, RASTI y EDT obtenidos en la simulación en tres puntos representativos del teatro con los obtenidos en las medidas in situ, y modificamos los coeficientes de ciertos materiales (ej./

revestimiento interior de palcos) logrando una correlación excelente entre el modelo virtual y la realidad arquitectónica.

## 5. RECEPTORES SIMULADOS: CÁLCULO DE PARÁMETROS 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. En cada uno de ellos hemos obtenido los parámetros acústicos estudiados en bandas de octava, los ecogramas y los valores de las caídas de nivel sonoro. En las gráficas siguientes se muestran aquellos receptores cuyos valores resultan significativos para la caracterización acústica del teatro (valores extremos). Los valores de simulación obtenidos se han cotejado con los registrados en las medidas in situ.

### 5.1 Parámetros temporales

El  $RT_{mid}$  calculado según Beranek [10] como media aritmética de las bandas de 500 y 1000 Hz, adopta un valor de 1,46 dB. A partir de los valores medios de  $RT_{30}$  en la sala teatral (curva tonal –Fig. 4) extraemos los parámetros medios de Calidez y Brillo:

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

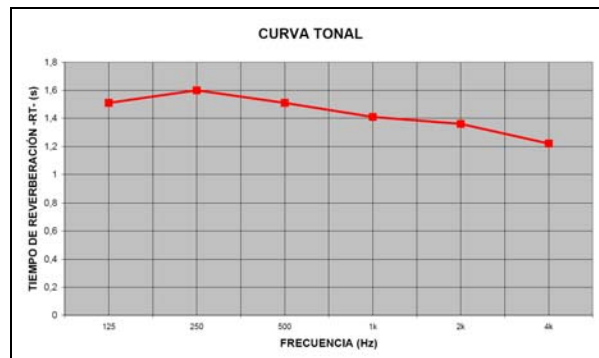
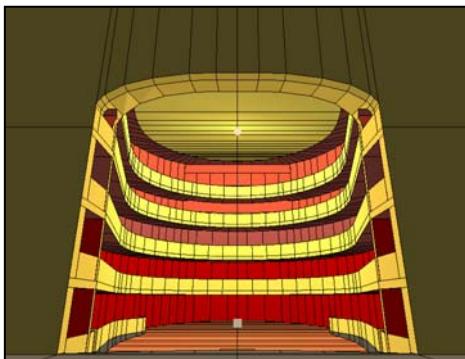


Fig. 3 (Izq.)- Modelo virtual tridimensional; vista interior (CATT-Acoustic)  
Fig. 4 (Der.)- Curva Tonal (variación de RT con la frecuencia; valores medios)

### 5.2 Parámetros energéticos.

Los valores máximos de **Fuerza Acústica (G)** alcanzan 4 dB y los valores medios oscilan entre 0,3 y 2 dB. Los valores mínimos se sitúan entre 0 y -1,4 dB (Fig. 5).

El receptor situado en el tercio delantero de la platea (rec. 1) registra el G más elevado por su cercanía a la fuente. La forma en herradura del teatro focaliza las reflexiones iniciales hacia la parte trasera de la sala (valor de amplificación excelente en rec. 5) [15] [16]. 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 (rec. 9, 14). Los valores mínimos se registran en las galerías superiores (rec. 12, 16, 17).

Los valores máximos de **Claridad Musical C80** (Fig. 6) se alcanzan en los receptores 5 (lateral platea), 7 (primer piso de palcos, centrado) que reciben potentes reflexiones tempranas debido a la geometría en herradura; y en el 12 (galería tercer piso), uno de los más desfavorecidos en cuanto a la recepción de niveles sonoros (SPL, G). Su elevada C80 se debe

a que apenas recibe reflexiones después de los 90 ms al hallarse confinado en el volumen semi-absorbente de la galería del tercer piso (ecograma).

Los valores menores de C80 se alcanzan en los receptores 1 (platea frente a escenario), 10 (lateral segundo piso) por la llegada tardía de reflexiones especulares de orden 1 y 2; y en el número 17 (galería cuarto piso).

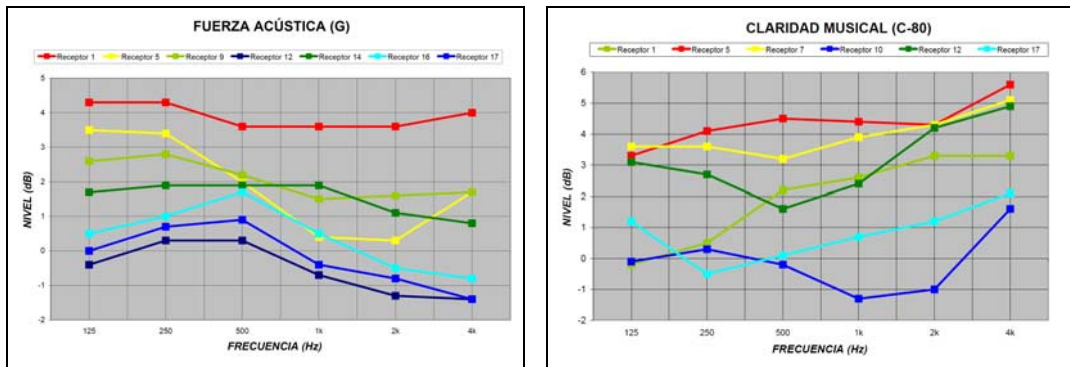


Figura 5 (Izq.)- Fuerza Acústica (G): Rec. 1, 5, 9, 12, 14, 16, 17  
 Figura 6 (Der.)- Claridad Musical (C80): Rec. 1, 5, 7, 10, 12, 17

Respecto a la **Definición D50**, varios puntos de la sala muestran valores ligeramente inferiores al 50 % requerido para una correcta inteligibilidad del discurso hablado (Fig. 7). Los valores mínimos se dan en el número 2 (centro platea) por el retraso con el que recibe reflexiones especulares tempranas al estar alejado de paredes cercanas; y en el número 10, (lateral segundo piso). 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 valores elevados.

### 5.3 Parámetros espaciales

Los valores **Eficiencia Lateral (LF)** en la platea son bajos (rec. 2, 4) sobre todo fuera de la zona de focalización de reflexiones de la herradura (Fig. 8). El valor mínimo se alcanza en el tercio delantero de platea (rec. 1) por su proximidad y alineación con la fuente sonora (campo directo), y se registran valores bajos en las galerías superiores (rec. 12, 16). Los puntos ubicados en el eje longitudinal de los diferentes pisos de palcos (rec. 7, 8, 11, 13) cumplen ampliamente los márgenes de LF recomendados.

Se registran valores muy elevados nuevamente en el tercio posterior de la platea (rec. 5; del orden del 40 %) y en las zonas laterales de palcos (rec. 9, 15).

Los valores de **"1-IACCE3"** (Early) varían desde 0.4 en las filas cercanas a la fuente hasta 0.7 en el tercio posterior de platea. En la mitad delantera de la sala las localidades no centradas muestran valores mejores de impresión espacial que las centradas. Los valores de **"1-IACCL3"** (Late) se sitúan constantes en toda la platea (0.8), dado que principalmente son las reflexiones iniciales las que establecen diferencias de percepción entre ambos oídos.

### 5.4 Parámetros de inteligibilidad

Se ha observado una clara correspondencia entre los valores de **RASTI** y de **STI** con los del parámetro energético D50. Las zonas con una mejor inteligibilidad para espectáculos teatrales son: tercio posterior de platea, palcos de platea, y zona central del primer piso.



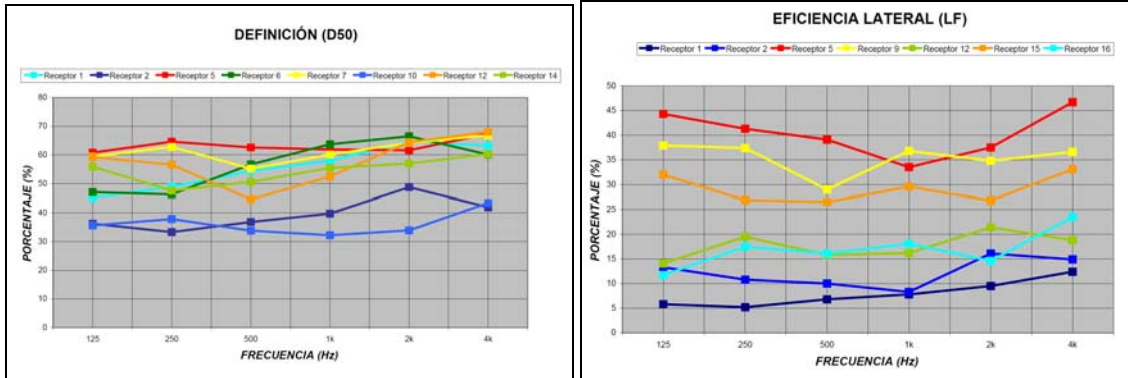


Fig. 7 (Izq.) - Definición (D50). Receptores nº 1, 2, 5, 6, 7, 10, 12, 14.  
 Fig. 8 (Der.) - Eficiencia Lateral (LF). Receptores nº 1, 2, 5, 9, 12, 15, 16.

## CONCLUSIONES

Se ha estudiado exhaustivamente el comportamiento acústico de la tipología teatral barroca italiana a través del Teatro Principal de Valencia mediante medidas in situ y mediante una simulación virtual, obteniendo las siguientes conclusiones:

1) *Fuerza Acústica G*: Valores elevados en el tercio posterior de la platea y de los palcos, debido a una evidente concentración de reflexiones inducida por la geometría en herradura. En los palcos laterales de los pisos superiores, G está condicionado 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.

2) *Tiempo de Reverberación RT30, Calidez BR, Brillo 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 adecuada para la audición musical y para el discurso hablado, con buenos valores de calidez ( $BR = 1.07$ ) y brillo ( $Br = 0.88$ ). La acústica resulta apropiada para representaciones teatrales y operísticas. En sala llena, la absorción del 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 del siglo XIX.

3) *Claridad Musical C80*: Valores óptimos en el tercio posterior de la platea. En palcos, su valor es mayor en los pisos superiores, debido a la mejora del ángulo de entrada de reflexiones tempranas procedentes del techo.

4) *Espacialidad: LF, IACCE3, IACCL3*: 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.

5) *Definición D50, Inteligibilidad STI, RASTI*: Los parámetros de inteligibilidad del discurso hablado, no alcanzan valores de excelencia en ningún punto. Los resultados mejores se obtienen en el tercio posterior de la platea, en el frente central de palcos y en la zona media de la herradura.

## 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.

## REFERENCIAS

- [1] Lamarca, L.: *El Teatro de Valencia desde su origen hasta nuestros días*, Valencia, 1840, p. 45
- [2] 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
- [2] 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
- [2] UNE-EN ISO 3382: *Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos*, 2001
- [5] Cerdá, S. Giménez, A., Romero, J., Cibrián, R, Miralles, J.L.: *Room acoustical parameters: A factor analysis approach*, Applied Acoustics 70, 2009, pp. 97-109
- [6] Barba, A. et al.: *Study of the Italian Style Theatre's acoustic performance throughout the research job carried out in the "Teatro Principal" of Valencia*, 19th International Congress on Acoustics, Madrid, 2007
- [7] 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 "Tecniacústica 2001", La Rioja, 2001
- [8] 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
- [9] Barron M. et al. *Energy relations in concert auditoriums I*. J Acoust Soc Am 1988; 84(2)
- [10] Beranek L.: *Concert hall and opera houses*. New York: Springer Verlag; 2004
- [11] Kürer, R.: *Zur Gewinnung von Eizahlkriterien bei Impulsmessungen in der Raumakustik*, Acustica nº 21, 1969, p.370
- [12] 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
- [13] CATT-Acoustic v 8.0b, *user's manual: Room Acoustics prediction and desktop auralization*, CATT, Gothenburg (SWEDEN), 2002
- [14] 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
- [15] Barba, A.; Giménez, A.; Segura, J.: *Caracterización del comportamiento acústico de los teatros a la italiana a partir del estudio de su geometría*, 40º Congreso Nacional de Acústica TecniAcústica, Cádiz, 2009
- [16] Iannace, G.; Ianniello, E.: *Changes in Subjective Sound-focusing effects in the plan of horse-shoe shaped opera theatres*, International Congress Acoustics08-Paris, 2008