



## LA VALORACIÓN ACÚSTICA EN LOS PROYECTOS DE REHABILITACIÓN DE TEATROS. EL EJEMPLO ANDALUZ

REFERENCIA PACS: 43.55.GX

León Rodríguez, A.L.; Navarro Casas, J.; Sendra Salas, J.J.; Zamarreño, T.; Algaba, J.; Galindo, M.  
Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción (I.U.C.C.). Universidad de Sevilla.  
ETS de Arquitectura de Sevilla  
Av. Reina Mercedes s/n  
41012 Sevilla. España  
Tel: 34 954 556 595  
Fax: 34 954 557024  
E-Mail: leonr@arquitectura.us.es

### ABSTRACT

This paper presents some of the results obtained in the mark of the Plan of Rehabilitation of Theaters of Andalucía, where we have worked as acoustic consultants of the Junta de Andalucía, from 1987, on a total of 35 theaters.

The rooms we study are the Villamarta Theater in Jerez de la Frontera (Cádiz), the Great Theater of Córdoba, the Isabel the Catholic Theater in Granada and the Great Theater of Huelva.

### RESUMEN

Se presentan algunos de los resultados obtenidos en el marco del Plan de Rehabilitación de Teatros de Andalucía, en el que, desde 1987, hemos trabajado como consultores acústicos de la Junta de Andalucía, sobre un total de 35 teatros.

Las salas que estudiamos son el Teatro Villamarta de Jerez de la Frontera (Cádiz), el Gran Teatro de Córdoba, el Teatro Isabel la Católica de Granada y el Gran Teatro de Huelva.

### 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este estudio es poner de manifiesto algunas conclusiones, de carácter general, sobre el comportamiento acústico global de un grupo de cuatro importantes teatros andaluces. Este trabajo se inscribe en un amplio proyecto de investigación que abarca un conjunto de unos treinta y cinco teatros pertenecientes al citado plan de rehabilitación, y que han sido analizados por nuestro equipo. Los resultados se corresponden a las mediciones acústicas definitivas, llevadas a cabo una vez finalizadas las obras de rehabilitación. Las características principales de los teatros elegidos (Fig. 1 a 4) se presentan en la siguiente tabla.

		TEATRO VILLAMARTA	GRAN TEATRO DE CÓRDOBA	TEATRO ISABEL LA CATÓLICA	GRAN TEATRO DE HUELVA
PARAMETROS	Rehabilitación:	1992-96	1983-86	1993	1986-90
	Volumen sala (V):	6528 m <sup>3</sup>	5869 m <sup>3</sup>	3984 m <sup>3</sup>	3989 m <sup>3</sup>
	Volumen total (Vt):	10231 m <sup>3</sup>	10351 m <sup>3</sup>	5715 m <sup>3</sup>	5481 m <sup>3</sup>
	Sup. Audiencia (S <sub>A</sub> ):	679 m <sup>2</sup>	688 m <sup>2</sup>	384 m <sup>2</sup>	463 m <sup>2</sup>
	Aforo (N):	1221 plazas	946 plazas	689 plazas	672 plazas

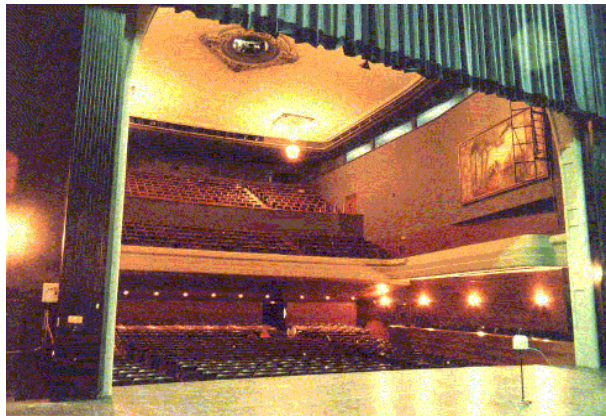


Fig.1 Teatro Villamarta. Jerez de la Fª. Cádiz

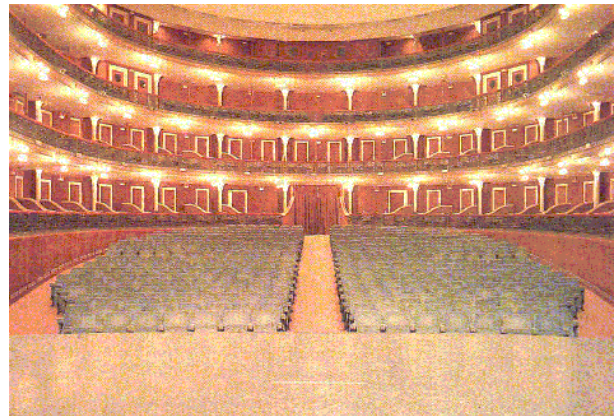


Fig.2 Gran Teatro de Córdoba

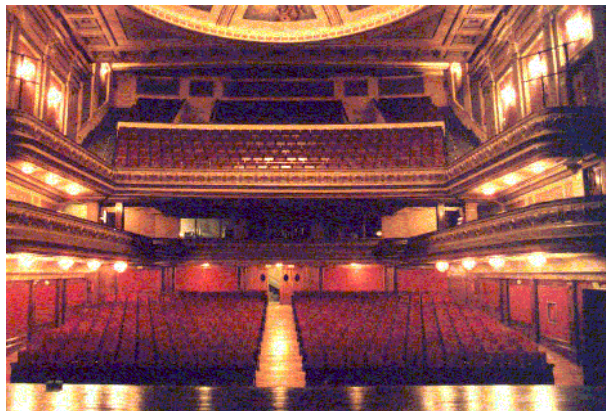


Fig.3 Teatro Isabel la Católica. Granada



Fig.4 Gran Teatro de Huelva

## 2. REVERBERACIÓN

El tiempo de reverberación se ha medido utilizando el método del impulso integrado<sup>1</sup> y promediando espacialmente todos los puntos para cada una de las salas. En las figuras 5 y 6 se presentan los valores correspondientes al tiempo de reverberación medio ( $Tr_{mid}$  500-1000 Hz) medidos con las salas vacías, así como los simulados para una ocupación del 100%. Estos últimos se han determinado a partir de las teorías clásicas (Sabine).

Los resultados obtenidos se han comparado con los valores dados por Beranek<sup>2</sup> para un conjunto de 14 teatros de ópera de buena acústica. Con el fin de realizar el análisis, los datos anteriores se han representado en función del volumen de las distintas salas, junto con los tiempos de reverberación óptimos propuestos por Beranek<sup>3</sup> y Cremer<sup>4</sup> (Figuras 5 y 6).

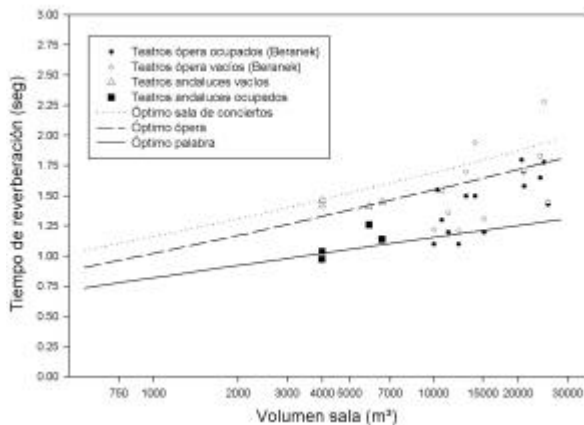


Fig. 5 Comparación con los Tr óptimos Beranek

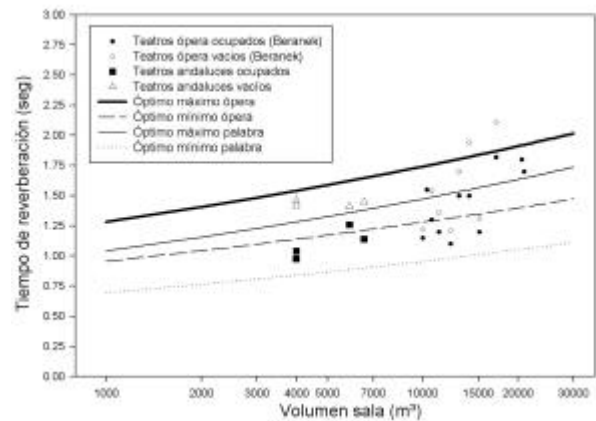


Fig. 6 Comparación con los Tr óptimos Cremer

### 3. DISTRIBUCIÓN SONORA

Se ha estimado la uniformidad del campo sonoro en los teatros a través de la medida de los niveles de presión acústica en diferentes puntos del patio de butacas, palcos y anfiteatros. Para ello dispusimos en la escena una fuente omnidireccional (*B&K 4296*) que emite una señal de ruido suministrada por un generador-amplificador con un nivel de potencia suficiente para poder despreciar el ruido de fondo. La señal se recoge en un micrófono (*B&K 4165*) a 1.20 m del suelo y se registra en una grabadora digital *DAT Sony PC204*. Posteriormente se analiza en octavas y tercios de octava mediante un analizador (*B&K 2133*) y un PC.

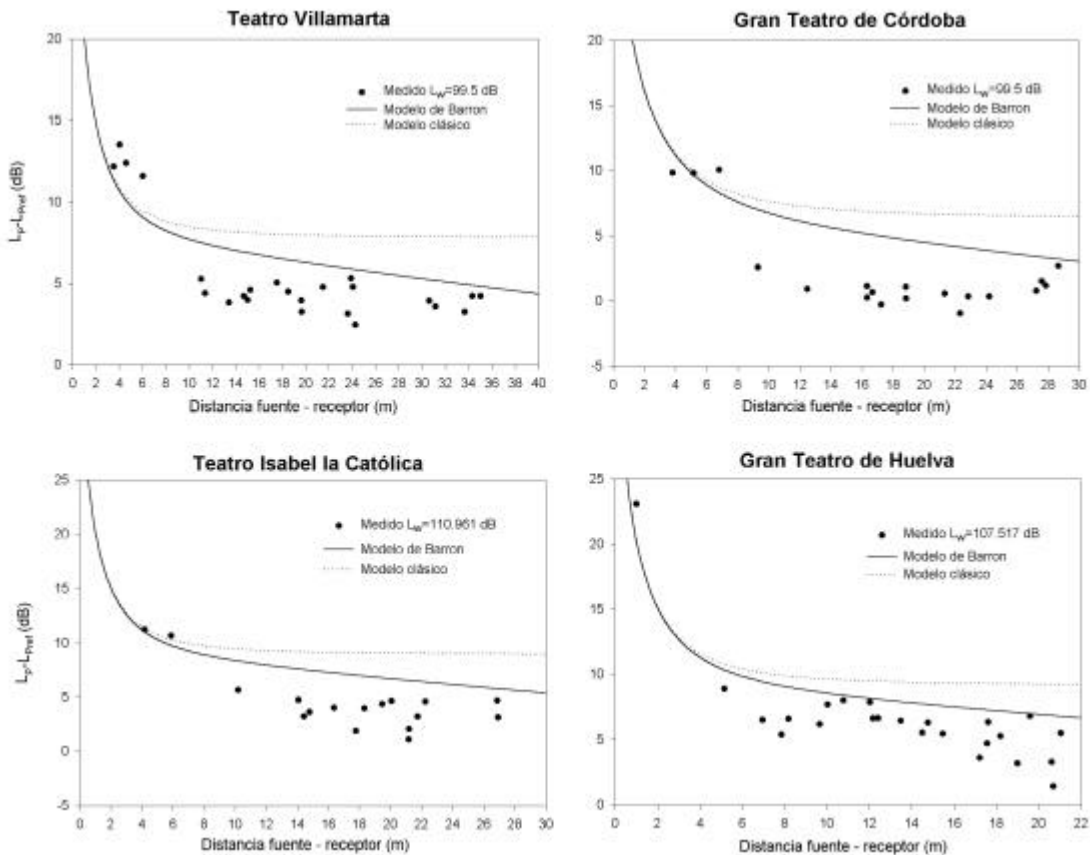


Fig. 7 Distribución sonora. Globales

Los resultados se presentan en la figura 7, que recoge los niveles de presión sonora globales frente a la distancia emisor-receptor, referenciados al nivel acústico producido por la fuente omnidireccional en campo libre a una distancia de 10 m emitiendo con la misma potencia. Junto a los resultados se presentan dos estimaciones teóricas: la clásica y la propuesta por Barron y Lee<sup>5</sup>.

En el modelo clásico se asume la hipótesis de campo difuso en el interior de los recintos y los niveles de presión sonora tienen un término correspondiente al sonido directo, que depende de la distancia emisor-receptor, y otro correspondiente al reflejado que es independiente de dicha distancia.

En el modelo modificado no se recoge la constancia del campo reverberado, fundamentalmente por la concentración de absorción en la zona de audiencia, y en los niveles de presión sonora aparecen términos que recogen el sonido directo, el sonido reflejado dentro de los primeros 80 ms y el sonido reflejado tardío, todos dependientes de la distancia, lo que implica una atenuación del campo reverberado a razón de  $-1 \text{ dB}/10 \text{ m}$ .

En todos los casos los resultados ponen de manifiesto una atenuación con la distancia parecida al modelo de Barron y Lee pero con unos valores inferiores a los teóricos que se puede achacar a que este modelo surgió a partir de salas de conciertos que tienen volúmenes sensiblemente superiores a los teatros analizados y por tanto una mayor absorción. También es de destacar que en los teatros existe un volumen escénico ausente en salas de conciertos.

#### 4. INTELIGIBILIDAD

Debido al uso polifuncional que tienen los teatros rehabilitados, uno de los usos fundamentales es el de la palabra hablada. Para la medida de la inteligibilidad hemos utilizado el índice *RASTI* (*Rapid Speech Transmission Index*) simplificación del *STI* (*Speech Transmission Index*). Las medidas se realizaron con un emisor (*B&K 4225*), situado en la escena, que envía una señal de ruido filtrada en las bandas de octava de 500 Hz y 2000 Hz, fundamentales para la palabra, y moduladas en cada banda con señales de baja frecuencia que intentan reproducir las modulaciones de la voz.

Por los volúmenes implicados se ajustó el nivel de emisión en Ref+10 dB que intenta simular un previsible alzamiento del nivel de la voz. La señal se recoge por un micrófono situado a 1.20 m del suelo y se envía al receptor (*B&K 4419*) que analiza la degradación que ha sufrido la modulación de la señal, dando lugar a la *FTM* (*Función de Transferencia de la Modulación*) y de ella el índice *RASTI*<sup>6</sup>. Todo el proceso es controlado por un ordenador portátil mediante un programa propio vía interface RS-232. El índice *RASTI* varía entre cero y uno lo que permite clasificar la sala, en relación con la inteligibilidad, desde *mala* a *excelente*.

En la figura 8 se representa el índice *RASTI* para los cuatro teatros, distinguiendo a su vez en cada uno de ellos la zona de patio de butacas, los palcos en cada nivel y los anfiteatros. En todos los casos se ha realizado un promedio de los puntos de medida. Podemos ver que la cualificación es *acceptable* en todos los casos excepto en el Gran Teatro de Córdoba que es *buena*. Las medidas se realizaron en ausencia de público, lo que hace previsible una mejora de todos los resultados en su presencia debido a una mayor absorción.

Un análisis mas detallado nos sugiere que en todos los teatros los últimos niveles de palco y anfiteatros de fondo (no laterales) presentan una mejor inteligibilidad que en el patio de butacas y en el primer nivel de palcos aunque, debido a la uniformidad que caracteriza a este índice, no hay una gran dispersión. El único caso donde se presenta una variación acusada de los valores en cada zona corresponde al Gran Teatro de Huelva donde la especial disposición de la sala produce



Fig.8 Rasti teatros andaluces

una dispersión en los resultados que da lugar a una mejor inteligibilidad en el patio de butacas y primer palco que en el anfiteatro y palco superior.

**5. RUIDO DE FONDO**

Para la valoración del ruido de fondo medido en los cuatro teatros, se han promediado linealmente cada uno de los espectros, durante unos cinco minutos, en puntos situados en los patios de butacas. El conjunto de medidas se han superpuesto con la curva NR-25 (fig.9), recomendada para el uso teatral.

En general, todos los espectros se sitúan por debajo de los valores aconsejados. La subida a altas frecuencias puede ser atribuida al hecho de que algunos teatros poseen luminarias y equipos de encendido que producen ruidos con esta característica espectral, o al ruido de fondo producido por los propios equipos de medida.

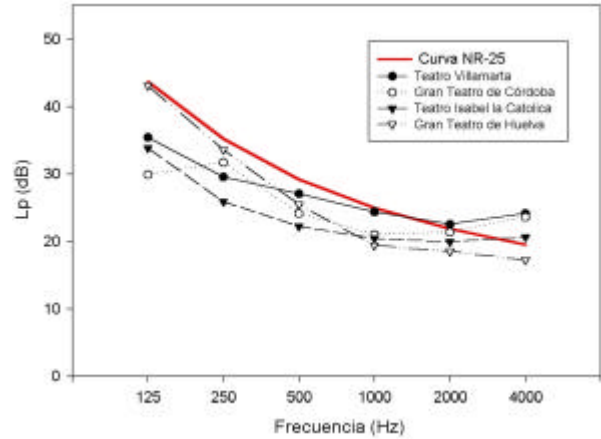


Fig. 9 Ruido de fondo

**6. OTROS PARÁMETROS**

En este apartado se presentan un conjunto de indicadores, de tipo genérico, que permiten cualificar las cuatro salas, por comparación con los valores obtenidos en la muestra representativa de teatros de ópera descritos en la introducción.

Los parámetros utilizados corresponden a las relaciones  $V/N$ ,  $V/S_A$  y  $S_A/N$ , donde:  $V$  ( $m^3$ ) corresponde al volumen del teatro, sin incluir el volumen del escenario ni el ocupado por la estructura de los anfiteatros;  $N$  es el número de asientos de la sala; y  $S_A$  ( $m^2$ ) la superficie acústica efectiva de audiencia, que incluye la suma de la superficie sobre la que se localizan los asientos (proyectada sobre la horizontal) y el área de una banda de 0,5 m de ancho alrededor de los mismos. Cuando la audiencia se sienta hasta el borde de una pared o de un antepecho de un anfiteatro, este ancho de pasillo no se considera.

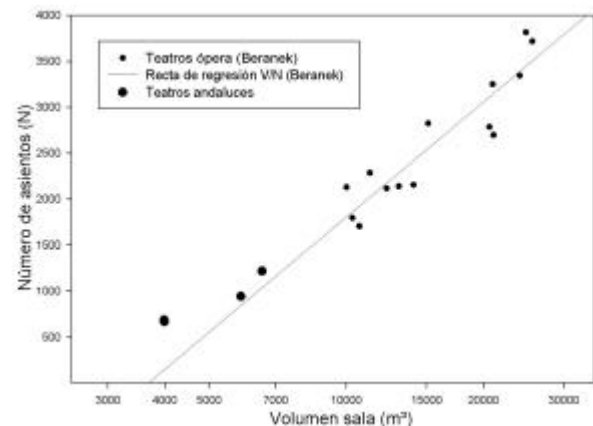


Fig. 10 Relación V/N

Las figuras 10, 11 y 12 muestran la posición de estos indicadores, para cada teatro, así como el ajuste general con la recta de regresión obtenida para la muestra de comparación.

Finalmente, la figura 13 presenta el criterio práctico propuesto por Barron<sup>7</sup>, donde el límite máximo entre la profundidad de la zona situada debajo de un anfiteatro o balcón en un teatro, no supere 2 veces la apertura del mismo (fig.14). Como puede comprobarse, en todos los teatros rehabilitados se hace efectiva esta recomendación de diseño.

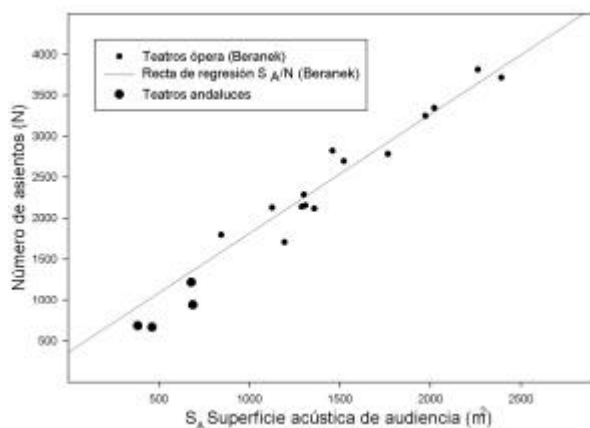


Fig. 11 Relación  $S_A/N$

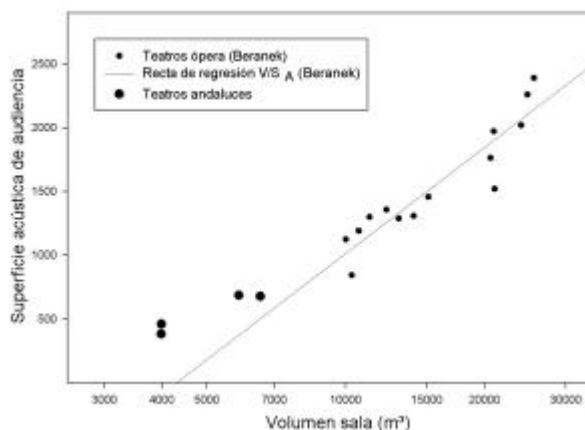


Fig. 12 Relación  $V/S_A$

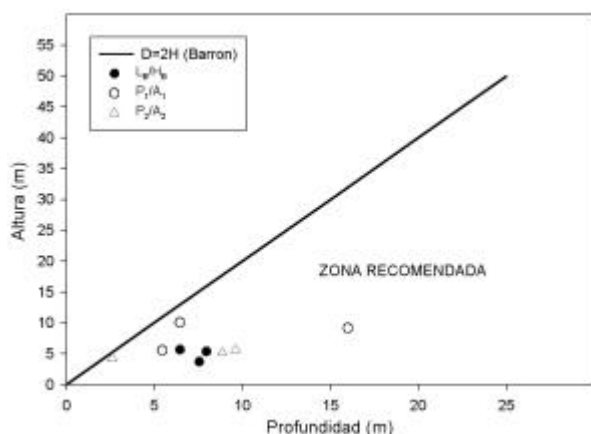


Fig.13 Proporciones anfiteatros

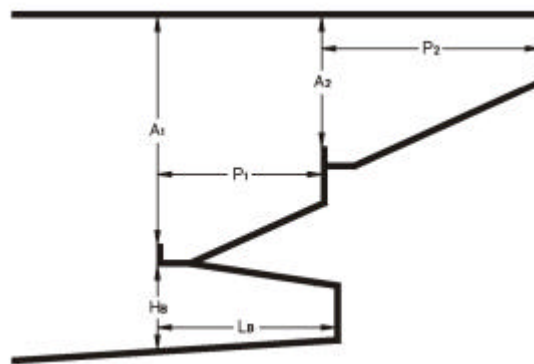


Fig.14 Esquema de dimensiones

## 7. CONCLUSIONES

Se ha pretendido dar una visión global de los resultados alcanzados en cuatro teatros significativos del Plan Andaluz de Rehabilitación de estos espacios. Ha quedado de manifiesto que los valores de estos parámetros están dentro del rango de valores recomendados, por lo que se consideran alcanzados los abjetivos propuestos al rehabilitarlos. No obstante, este trabajo se inscribe en un proyecto de investigación en el que se tiene la intención de profundizar con mayor detalle en las relaciones entre los distintos parámetros, con una muestra de teatros mayor (unos 25), y en el que seguimos trabajando.

## REFERENCIAS

- <sup>1</sup> Schroeder, M.R. (1965). *New method of measuring reverberation time*. J.Acoust. Soc. Am. 37, 409-412.
- <sup>2</sup> Beranek, L.L.(1996). *Concert and opera halls: how they sound*. Nueva York: ASA.
- <sup>3</sup> Beranek, L.L. (1993). *Acoustics*. Nueva York: ASA.
- <sup>4</sup> Cremer, L., Müller, H.A. y Schultz, T.J. (1955). *Principles and applications of room acoustics*. Vol. 1. Londres: Applied Science Publishers.
- <sup>5</sup> Barron, M. y Lee (1998). *L.J.Energy Relations in Concert Auditoriums*. I.J.Acoust. Soc. Am. (2), 618-628.
- <sup>6</sup> Hougast, T. y Steeneken, H. J. M. (1985). *A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria*. J. Acoust. Soc. Am.. 77 (3) 1069-1077.
- <sup>7</sup> Barron, M. (1993). *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. Londres: E & FN Spon and imprint of Chapman & Hall.