

SIMULACIÓN DEL SOPORTE DE ESCENA EN TEATROS ANDALUCES

PACS: 43.55.Ka

Miguel Galindo¹, Sara Girón¹, Teófilo Zamarreño¹, Ángel Luis León².

¹Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Sevilla. Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción (IUACC). Avda. Reina Mercedes 2, 41012, Sevilla, España, Tel: +34 954556672, Fax: +34 954557892, E-mail: mgalindo@us.es, sgiron@us.es, teofilo@us.es,

²Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, Universidad de Sevilla. Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción (IUACC). Avda. Reina Mercedes 2, 41012, Sevilla, España. Tel: +34 954556595, Fax: +34 954557018, E-mail leonr@us.es.

ABSTRACT

A simulation of the stage acoustics of four proscenium theatres in Andalusia (southern Spain) has been carried out. The quality of stage support has been studied using the early and late support acoustic parameters which are frequency-averaged in the 250-2000 Hz octave band range at various individual positions on the stages. Two different typologies (horseshoe and shoebox) and two configurations of the stage according to whether the orchestra shell is installed are tested. The comparison between the results obtained in the simulation and the experimental values measured in a previous study shows good agreement between both sets of values, thus supporting the validity of the method of computer prediction.

RESUMEN

Se ha realizado una simulación de la acústica de la escena de cuatro teatro andaluces de proscenio. La cualidad de soporte de escena se ha estudiado mediante los parámetros acústicos de soporte inicial y final, promediados en frecuencia en las bandas de octava de 250-2000 Hz en varias posiciones individuales en las escenas. Se han ensayado dos tipologías diferentes (herradura y caja de zapatos) y dos disposiciones de escena según estuviese o no instalada la concha acústica. La comparación de los resultados obtenidos en la simulación y los valores experimentales medidos en un estudio previo han mostrado una buena concordancia entre ambos conjuntos de valores, apoyando así la validez del método informático de predicción.

SOPORTE DE ESCENA

Las condiciones acústicas en la escena de un espacio escénico son de importancia primordial para los músicos. Omitiendo aspectos subjetivos de la percepción, de acuerdo a las demandas de la ejecución, los intérpretes requieren una buena audición de su propio instrumento de forma que no sea necesario forzarlo para desarrollar el tono (*apoyo ó support*), y del resto de los instrumentos de la orquesta de modo que pueda tocar con precisión en ritmo, afinado, balanceado en nivel, timbre y expresión (*conjunto ó ensemble*).

El concepto de soporte de escena fue descrito por Knudsen [1] en 1931, aunque las primeras aproximaciones sistemáticas mediante experimentos subjetivos fueron publicadas entre otros por Barron [2] en 1978.

Se han introducido tres versiones del soporte de escena (ST) diferentes [3]: para la impresión de conjunto y apoyo el parámetro de soporte o apoyo inicial (early support, ST_{Early}); para la impresión de reverberación el parámetro de soporte o apoyo final (late support, ST_{Late}); y para el soporte acústico, (total support, ST_{Total}). Los parámetros se definen matemáticamente como [4]:

$$ST = 10 \log \left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt}{\int_0^{0.01s} p^2(t) dt} \right] \quad (dB) \quad (1)$$

donde $t=0$ representa la llegada del sonido directo y ST_{Early} integra el sonido reflejado con límites $t_1=20$ ms, $t_2=100$ ms en relación con la energía emitida desde la fuente (sonido directo y reflexión en el suelo a 1 m). No se ha establecido un límite de discriminación subjetiva para ST_{Early} pero una diferencia de 2 dB es probablemente significativa para un músico [5].

Para ST_{Late} los límites para el sonido reflejado son $t_1=100$ ms, $t_2=1000$ ms y para ST_{Total} $t_1=20$ ms y $t_2=1000$ ms, respectivamente, estando este último por tanto relacionado con los parámetros anteriores mediante la ecuación:

$$ST = 10 \log \left[10^{ST_{\text{Early}}/10} + 10^{ST_{\text{Late}}/10} \right] \quad (dB) \quad (2)$$

Los valores simulados y medidos que se presentan en este trabajo corresponden a los valores promediados aritméticamente para las bandas de 250, 500, 1000 y 2000 Hz. Se han seguido las recomendaciones de Gade [3] a la hora de realizar las medidas in situ que han sido recogidas en el borrador ISO [4].

LOS TEATROS SIMULADOS

Las salas de conciertos analizadas están integradas en la red de teatros y auditorios españoles y todas son propiedad de los respectivos gobiernos municipales. Los acrónimos asignados provienen de la nomenclatura correspondiente en la página web de MIREM (mapa informatizado de recintos escénicos y musicales de España) [6] y aparecen ordenados alfabéticamente. En todas las salas estudiadas se llevan a cabo diferentes tipos de actividades culturales como ópera, teatro, danza, cine y conciertos. Son espacios con una relación fija público-escena y con una presentación frontal. Los recintos escénicos estudiados son 4 teatros de proscenio con dos tipologías. En herradura: Gran Teatro de Córdoba (GTC), Gran Teatro Falla de Cádiz (GTF) y Teatro Lope de Vega de Sevilla (TLV), y de tipo caja de zapatos: Gran Teatro de Huelva (GTH).

La mayoría de los teatros disponen de una concha acústica (de orquesta) que instalan de acuerdo con la actividad que se desarrolla en cada momento en el recinto. Para dar cuenta de ello, se han realizado medidas acústicas en la escena con la concha acústica instalada en el Gran Teatro de Córdoba (GTC) y en el Gran Teatro Falla de Cádiz (GTF), y sin la concha acústica en el Gran Teatro de Huelva (GTH) y en el Teatro Lope de Vega de Sevilla (TLV).

En la Figura 1 se muestra la planta y la sección longitudinal, una escala orientativa y los puntos de recepción para la medida y el cálculo del soporte de escena en el Gran Teatro de Huelva. La Figura 2 muestra una fotografía del Gran Teatro Falla de Cádiz con la concha acústica instalada y con las sillas de los músicos en la escena. Así mismo, en la Tabla 1 se presentan algunos de los datos geométricos más relevantes relacionados con la escena de los teatros [7].

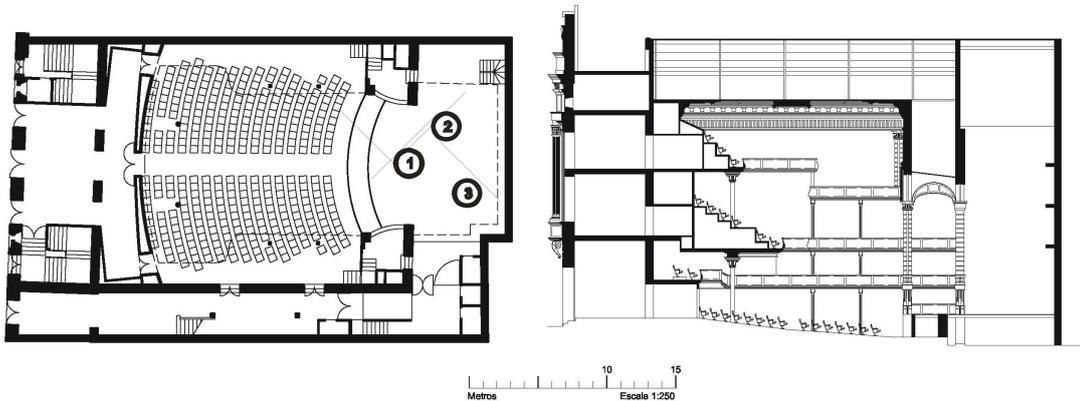


Figura 1. Planta con la ubicación de los receptores y sección longitudinal del Gran Teatro de Huelva.

Tabla 1. Datos relevantes de las salas analizadas.

Sala	GTC ^a	GTF ^a	GTH ^b	TLV ^a
Asientos	946	1038	601	733
Volumen de sala (m ³)	6071	8114	4800	5902
Puntos medidos	2 ^c	4 ^c	3	4
Volumen de escena (m ³)	872	1728	1363	3363
Anchura media (m)	12.5	12	8.73	17.4
Altura ^e (m)	5.13 ^g	12 ^g	19.5	16
Profundidad ^f (m)	14.5	12	10	14.5
Área de escena (m ²)	174	144	102	275

(^a) Herradura. (^b) Caja de zapatos. (^c) Con concha. (^d) En la sección de cuerda.
(^e) Hasta el peine. (^f) Profundidad media. (^g) Según propuesta de Dammerud [8].

MÉTODO EXPERIMENTAL

Los procedimientos empleados han sido los establecidos en la ISO/DIS-3382-1 [4], y las medidas se llevaron a cabo sin la presencia de público, ni músicos. Se controlaron la temperatura y la humedad relativa mediante un termo-higrómetro de precisión. Se midieron las respuestas al impulso (RI) monoaurales que posteriormente fueron procesadas para obtener los parámetros de soporte de escena para cada banda de octava en el rango de frecuencias de 125-4000 Hz, en cada receptor.

La respuesta al impulso se ha obtenido mediante barridos senoidales generados y analizados por el programa WinMLS 2004 mediante una tarjeta de sonido VX Pocket v2 de Digigram. La fuente omnidireccional DO-12 de 01-dB Stell se localiza a 1 m del suelo. Los micrófonos de media pulgada omnidireccionales (B&K 4190 con un preamplificador 2669 polarizado por la fuente y acondicionador de señal OPUS 01 dB) se sitúan a 1 m del sue-



Figura 2. Vista interior del Gran Teatro Falla de Cádiz con la concha acústica instalada y con las sillas de los músicos presentes.

lo con una distancia fuente receptor de 1 m. En el caso del Gran Teatro de Córdoba las sillas y atriles de los músicos estaban presentes en la escena y para el Gran Teatro Falla únicamente las sillas (ver Figura 2).

SIMULACIONES

El programa de simulación acústica empleado es CATT-Acoustic [9]. El cálculo completo detallado usa un algoritmo híbrido (randomized-tail-corrected RTC) con correcciones estadísticas de la cola del ecograma que combina características del trazado especular de conos con el algoritmo de las fuentes imagen. Para mitigar las inconveniencias el sonido directo, las reflexiones especulares y las difusas de primer orden se manejan de forma determinista mediante el método de las fuentes imagen.

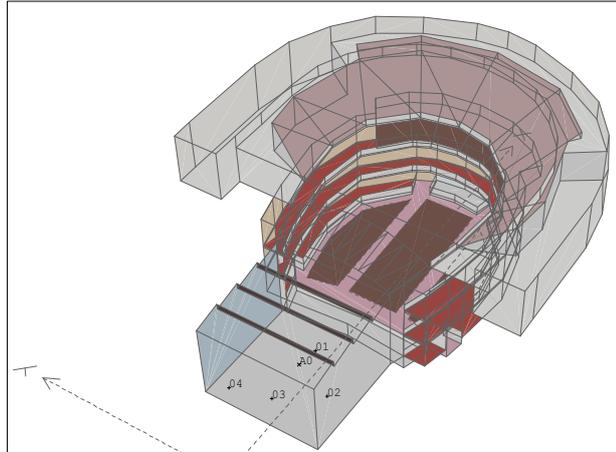


Figura 3. Vista general del modelo 3D creado del Gran Teatro Falla de Cádiz.

Los valores medidos in situ de la presión atmosférica, la temperatura y la humedad relativa del aire, se usaron como datos de entrada en las simulaciones. Así, se ajusta la velocidad del sonido (y por tanto los retrasos relativos de las diferentes reflexiones) para construir el ecograma en el interior de los teatros. Para evitar una de las posibles fuentes de error, las distancias fuente receptor han sido convenientemente ajustadas.

Se han aceptado las estimaciones automáticas del programa respecto al número de rayos y al tiempo de truncado con la condición de que este último cumpla el requerimiento de ser del orden del tiempo de reverberación. Todas las superficies han sido caracterizadas para la simulación por sus correspondientes coeficientes de absorción y scattering para las bandas de octava desde 125 a 4000 Hz. El valor por defecto para el coeficiente de scattering en cada banda de octava es de 0.1, pues está contrastada la necesidad de incluir valores distintos de cero para conseguir una simulación adecuada [10].

A modo de ejemplo, en la Figura 3 se muestra el modelo 3D creado para el Gran Teatro Falla de Cádiz. En él se indican la posición de los receptores en la escena (se muestra también la posición relativa de la fuente A0 para el receptor 1), así como las diferentes superficies coloreadas. Estos colores son asignados correspondiendo con las características acústicas de cada una de ellas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con objeto de facilitar la comparación de los resultados, en la Tabla 2 se presentan los valores medidos del soporte de escena inicial ST_{Early} y final ST_{Late} en cada punto de recepción en la escena de cada teatro analizado.

Atendiendo a la distribución espacial de los valores medidos en la escena para el ST_{Early} , de acuerdo con lo propuesto por Jeon *et al* [5], los dos teatros que tienen instaladas las conchas acústicas (GTC y GTF) presentan variaciones entre unos puntos y otros menores de 2 dB lo que indicaría que los músicos tendrían la misma percepción de su instrumento y del resto de la orquesta en todos los puntos de la escena. Los teatros sin concha acústica (GTH y TLV) presentan variaciones en torno a 3 o 4 dB.

Tabla 2. Valores medidos en dB del soporte de escena inicial ST_{Early} (izquierda) y final ST_{Late} (derecha).

Sala	GTC		GTF		GTH		TLV	
	ST_{Early}	ST_{Late}	ST_{Early}	ST_{Late}	ST_{Early}	ST_{Late}	ST_{Early}	ST_{Late}
Punto 1	-9.6	-15.4	-13.4	-13.4	-10.6	-15.8	-13.8	-14.0
Punto 2	-10.0	-15.5	-12.6	-14.0	-14.5	-17.0	-11.1	-14.6
Punto 3			-12.6	-15.1	-13.3	-19.0	-12.0	-13.2
Punto 4			-12.5	-16.4			-11.3	-13.9

Teniendo en cuenta la variabilidad espacial de los valores medidos en la escena para el ST_{Late} , el Gran Teatro de Córdoba (GTC) y el Teatro Lope de Vega de Sevilla (TLV), presentan valores muy uniformes, con variaciones menores de 2 dB. Como este parámetro está relacionado con la sensación subjetiva de la reverberación del recinto que perciben los músicos, es posible afirmar que en estos teatros la sensación es muy homogénea. En el Gran Teatro Falla de Cádiz (GTF) y en el Gran Teatro de Huelva (GTH) existe una mayor variación punto a punto, si bien es verdad que no existe un limen subjetivo reconocido y no es posible concluir que esta mayor variabilidad conlleve un cambio en la sensación de la reverberación.

En la Figura 4 se presentan los resultados obtenidos en la simulación acústica de los parámetros de soporte de escena inicial ST_{Early} y final ST_{Late} , en los diferentes puntos de recepción de la escena, en los cuatro teatros analizados. Además, las barras verticales asociadas indican la diferencia entre los valores medidos menos los valores simulados. Si este valor es positivo la barra está hacia arriba y en caso contrario hacia abajo.

Del análisis de estas gráficas es posible inferir que el soporte de escena inicial ST_{Early} (Figura 4(a)) presenta muy poca variación con respecto a los valores medidos en los puntos de recepción estudiados en las escenas del Gran Teatro de Córdoba, del Gran Teatro Falla de Cádiz (hay una excepción en el punto 4, muy próximo a las paredes del fondo y lateral derecha de la escena, ver Figura 3, en que la diferencia con el valor medido es del orden de 3.5 dB) y del Gran Teatro de Huelva (en torno a 2 dB). Esto, de acuerdo con lo propuesto por Jeon *et al* [5], indicaría que las simulaciones en cada punto de la escena tendrían la misma percepción del instrumento empleado en dicho punto y del resto de la orquesta que en la situación real. Precisamente dos de los teatros que cumplen este requisito presentan la concha acústica instalada en la escena. También conviene destacar el valor mucho más adecuado de este parámetro en el caso del Gran Teatro de Córdoba, que pone de manifiesto el incremento de las reflexiones iniciales con la presencia de la concha, como era de esperar; y además, influenciado por el hecho de disponer del volumen de escena menor entre los teatros estudiados. Por el contrario, para el Teatro Lope de Vega de Sevilla, sin la

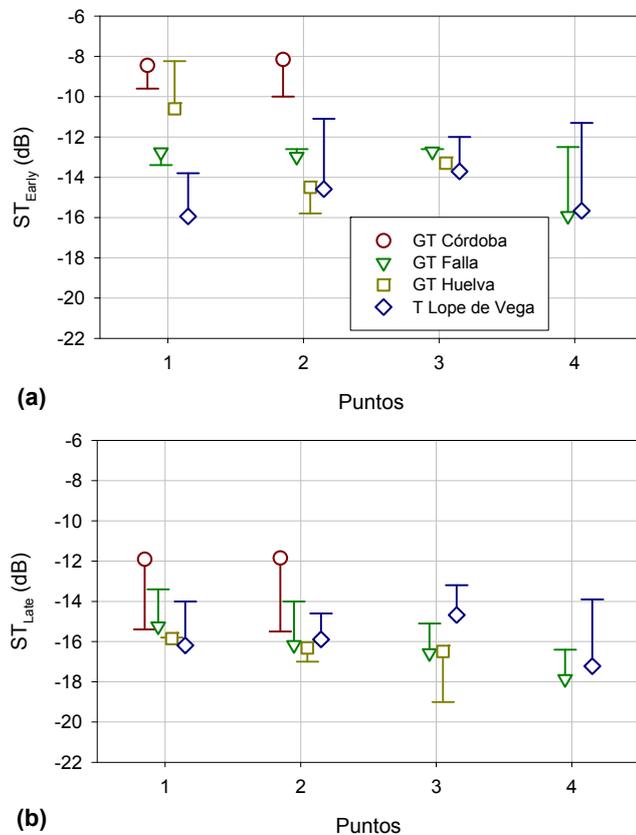


Figura 4. Soporte de escena inicial (a) y final (b) en los puntos de la escena de los diferentes teatros. Las barras verticales expresan la diferencia entre los valores medidos y los simulados.

concha acústica y con el mayor volumen de escena, el parámetro ST_{Early} presenta mayor variabilidad en los puntos de recepción con un rango de variación de 2 a 4 dB, el doble del limen subjetivo recomendado. En todos los casos los valores medidos y simulados están dentro del rango típico para estos espacios (-8 dB a -24 dB).

El comportamiento del parámetro de soporte final ST_{Late} , (Figura 4(b)), en cuanto a las diferencias de los valores simulados respecto de los medidos en la escena, indica muy poca variación en el Gran Teatro Falla de Cádiz frente al resto de los teatros. No obstante al no existir un límite subjetivo reconocido para este parámetro no podemos extraer una conclusión definitiva de la eficacia de la simulación. Los valores promedio en todos los casos están comprendidos en el intervalo -12 dB y -18 dB.

CONCLUSIONES

La comparación de los resultados simulados de los parámetros de soporte de escena inicial y final con los valores medidos in situ, en un trabajo previo, ha puesto de manifiesto que parece posible predecir este tipo de parámetros, en general con una aproximación aceptable, para las configuraciones fuente-receptor que cumplan con el requisito de posiciones relativas adecuadas (1 m entre fuente y receptor y 1 m de éstos al suelo) siempre que dispongamos de un modelo acústico que describa de forma correcta la reverberación de la sala. La falta de definición de un limen subjetivo aceptado para el soporte de escena final dificulta el análisis de la precisión de la simulación para este parámetro. Finalmente, como rasgo general del análisis de los resultados, es posible deducir que un modelo mejor calibrado acústicamente de los teatros podría proporcionar mayor precisión en la descripción de los parámetros asociados al soporte de escena.

RECONOCIMIENTOS

Esta comunicación es parte del trabajo realizado en el proyecto de investigación coordinado con referencia BIA2003-09306-CO4-02.

REFERENCIAS

- [1] V.O. Kundsen, "Acoustics of music rooms," J. Acoust. Soc. Am. **2**, 424-467 (1931).
- [2] M. Barron, "The Gulbenkian Great Hall. Lisbon II: An acoustic study of a concert hall with variable stage," J. Sound Vib. **59**, 481(1978).
- [3] A.C. Gade, "Practical aspects of room acoustic measurements on orchestra platforms," Proceedings of the 14th ICA Beijing, (1992).
- [4] Draft International Standard ISO/DIS 3382-1 Acoustics - Measurement of room acoustic parameters, International Organisation for Standardisation, Geneva, Switzerland (2006).
- [5] J.Y. Jeon, M. Barron, "Evaluation of stage acoustics in Seoul Arts Center Concert Hall by measuring stage support," J. Acoust. Soc. Am. **117**, 232-239 (2005).
- [6] MIREM <http://www.artenetsgae.com/mire/index.htm>.
- [7] A.L. León, J.J. Sendra, J. Navarro, T. Zamarreño, "Acústica y Rehabilitación en Teatros de Andalucía," Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Sevilla (2007).
- [8] J.J. Dammerud, M. Barron, "Concert hall stage acoustics from the perspective of the performers and physical reality," Proceedings Inst. Acoust. vol. **30** Pt. 3, (2008).
- [9] CATT-Acoustic v8h, user's manual. *Room acoustics prediction and walkthrough auralization*. CATT, Gothenburg, Sweden (2008).
- [10] B-I. L. Dalenbäck, "The Importance of Diffuse Reflection in Computerized Room Acoustic Prediction and Auralization," Proc. Inst. of Acoust. **17**, 27-34 (1995).