

ANÁLISIS ACÚSTICO DEL TEATRO ROMANO DE MEDELLÍN

PACS: 43.55.Gx

Barragán-Pulido, María L.; García-Quevedo, Elena²; Barrigón-Morillas, Juan M.¹; Medina-Molina, Manuel²; Atanasio-Moraga, Pedro¹; Vílchez-Gómez, Rosendo¹; Gómez-Escobar, Valentín¹.

¹ Departamento de Física Aplicada, Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura
Avda. de la Universidad s/n, Cáceres, 10003, España.

Tfno.: (+34) 927 25 72 34, Fax: (+34) 927 25 72 03

E-mail: barrigon@unex.es

² Departamento de Señales y Comunicaciones, Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Electrónica, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria,

Campus de Tafira, Edificio de Telecomunicaciones, 35017 Las Palmas, España.

E-mail: elena.garcia@ulpgc.es - Tfno.: (+34) 928 45 73 59

E-mail: manuel.medina@ulpgc.es - Tfno.: (+34) 928 45 29 68

ABSTRACT

The construction of the Roman Theatre of Medellín (Badajoz) took place towards the late-Republican or pre-Augustan age. It has begun to be systematically recovered in 2007 and, in some respects; it has an exceptional state of preservation, such as the state of the bleachers.

In this work, we have measured in situ different overall acoustic variables such as the distribution of sound pressure level, background noise or reverberation time and other issues related to intelligibility, as RASTI and %ALcons. We performed a computer model of the theater in the current state and we have simulated the behavior of the sound field by using the EASE software (from Ahnert Feistel Media Group). The results obtained with both methods were compared, allowing us to calibrate and validate the parameters of the computer model. Subsequently, it has been designed and studied the behavior of the acoustic field of the theater in the reconstruction of its original state. We present in this paper the preliminary results of the study that we have been performing in this place.

RESUMEN

La construcción del teatro romano de Medellín (Badajoz) se produce hacia la época tardo-republicana o pre-augustea. Ha comenzado a ser recuperado de forma sistemática en el año 2007 y, en algunos aspectos, posee un estado de conservación excepcional, como es el caso del estado del graderío.

En este trabajo se han medido in situ diferentes variables acústicas generales, como la distribución del nivel de presión sonora, el ruido de fondo o el tiempo de reverberación y otros relacionados con la inteligibilidad, como Rasti y %ALcons. Mediante el empleo del software EASE (de Ahnert Feistel Media Group), se ha realizado un modelo informático del teatro en el estado actual y se ha simulado el comportamiento del campo sonoro. Los resultados obtenidos con ambos métodos han sido comparados, lo que nos ha permitido calibrar y validar los parámetros del modelo informático. Posteriormente, se ha diseñado y estudiado el comportamiento del campo acústico del teatro en la reconstrucción de su estado original. Presentamos en esta comunicación los resultados preliminares obtenidos del estudio que

venimos llevando a cabo en este recinto.

1. LA ACÚSTICA EN LOS TEATROS CLÁSICOS

Los avances alcanzados en la acústica arquitectónica durante la Antigüedad Clásica, se deben principalmente al nacimiento de la cultura teatral, donde el estudio de todo lo relacionado con el sonido fue fruto del afán por conseguir una acústica óptima en los recintos teatrales.

Básicamente, la cultura teatral florece entre el 550 a.C. y 220 a.C. dando pie a descubrimientos entorno al mundo de la acústica, y más en concreto a la aplicación de esta disciplina a la arquitectura en el diseño y puesta en escena del teatro clásico griego. En los teatros romanos puede verse reflejada la tipología de los teatros griegos de los que derivaron, y que sintetizan la sabiduría de sus predecesores aplicándola en conceptos como la inteligibilidad y el diseño de los recintos para optimizar la calidad de las audiciones. Una comparativa entre ambas estructuras puede verse a continuación en la figura 1.

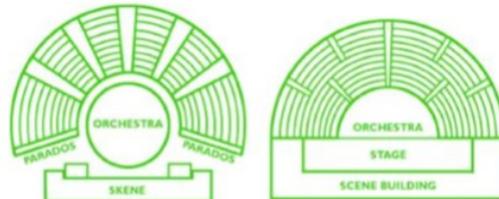


Figura 1.- Teatro griego a la izquierda, teatro romano a la derecha.

Sería Vitruvio, arquitecto, escritor e ingeniero romano quien elaboraría el tratado sobre arquitectura más antiguo que se conserva y el único de la Antigüedad Clásica, "De Architectura", probablemente escrito entre los años 27 y 23 a.C., y en el que realizó un completo análisis de los teatros [1].

2. EL TEATRO ROMANO DE MEDELLÍN

Medellín es, en la actualidad, un pequeño municipio de poco más de 2000 habitantes cuyo gentilicio es el de metillense en honor de su fundador el Cónsul romano Quinto Cecilio Metello Pio.

Afirmaba el primer arqueólogo que trabajó en unas excavaciones del Teatro Romano de Medellín, D. Mariano del Amo, que el monumento perteneció a la Colonia Metellinensis o Metellinum, de la que tenemos constancia por un texto de Plinio al referirse a la Lusitania, en el que figura como una de las cinco colonias de dicha provincia romana [2].

Aprovechando al máximo la topografía del cerro en el que fue edificado, desde el siglo I a. C., el teatro romano de Medellín orienta la cávea al mediodía, exponiéndola constantemente a los rayos del sol, contrariamente a las normas vitrubianas. La estructura del teatro original puede verse en la figura 2, donde encontramos una cávea cuyo radio alcanzaba aproximadamente los 30 metros y un frente escénico (*scaenae frons*) que, si bien no se ha podido constatar, se cree que alcanzaría los 15 metros de altura con un escenario (*scaena*) de altura 1,30 metros. La altura del conjunto fue estimada sobre los 19 metros.

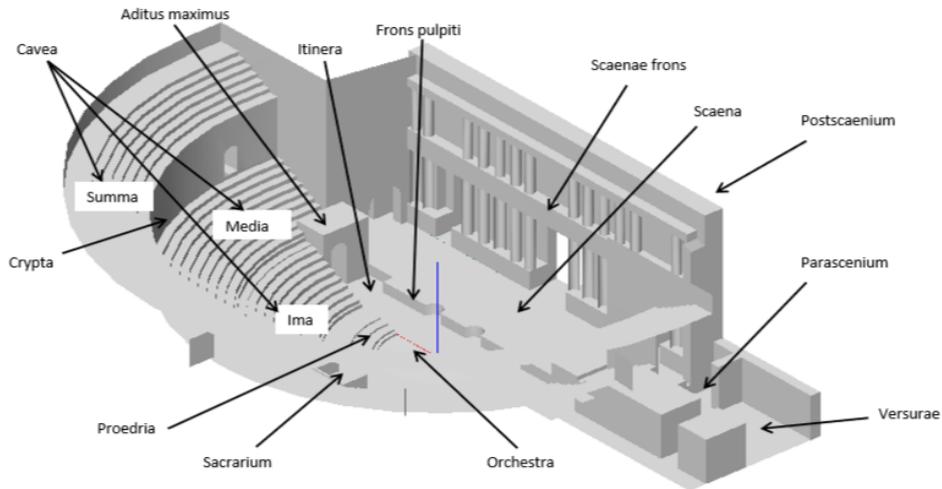


Figura 2.- Teatro estado original.

Después de 2000 años, el estado actual del teatro no es el que tuviera inicialmente. En la figura 3 podemos ver una fotografía actual del mismo y en la parte inferior derecha una recreación en 3D.



Figura 3.- Teatro romano de Medellín.

El radio de la cávea actual (*ima* y *media cávea*) es de unos 22 metros. Respecto a los materiales más relevantes encontramos el suelo de la *orchestra* que aún conserva el mármol original (altamente reflectante), el graderío con una inclinación de **30 grados** construido en granito, similar al granito abujardado. Cabe destacar que los peldaños de la *ima cávea* (zona más baja del graderío), han sido reconstruidos en madera de pino.

3. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo es estudiar el comportamiento acústico de un monumento del que a día de hoy se desconoce mucho debido a que los trabajos y estudios que se llevaron a cabo en un pasado no fraguaron de manera clara. Sin embargo, desde el año 2007 aproximadamente, se volvió a despertar el interés por el teatro que se encontraba enterrado en la ladera del cerro donde se localiza, tras haberse planteado, o previsto, el gran potencial que un monumento de esta índole podía alcanzar.

Con todas estas consideraciones y en un afán por explotar el potencial del monumento, este

mismo verano de 2014, por primera vez, se comenzó a utilizar para representaciones teatrales en una extensión del Festival de Teatro de Mérida.

4. METODOLOGÍA

Medidas

Para conocer las características y el comportamiento acústico del recinto se llevaron a cabo tres tipos de medidas diferentes: respuesta impulsiva, difusión y ruido de fondo.

Cada uno de estos procedimientos fue aplicado para dos posiciones distintas de fuente; en el centro del escenario y en la *orchestra*.

Simulación

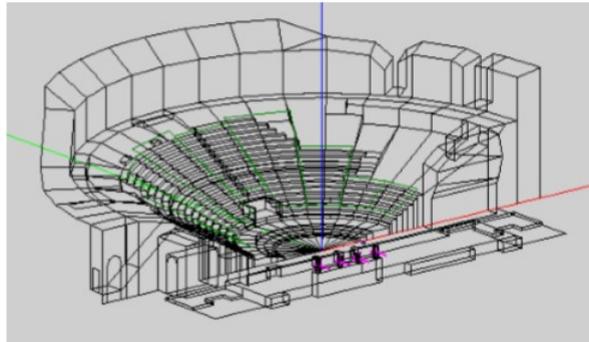


Figura 4.- Modelo del teatro romano de Medellín en EASE.

Además de tomar las medidas in situ, se simuló el teatro en su estado actual y en su diseño original utilizando el software de simulación acústica EASE, a fin de poder contrastar y complementar ambos tipos de resultados. En la figura 4 se muestra el modelo con el que se simuló acústicamente el comportamiento del teatro en su estado actual.

5. RESULTADOS

Respuesta al impulso - Reverberación

En recintos al aire libre sólo se considera el sonido directo. Si se utilizan reflexiones para proporcionar mayor sonoridad a los espectadores, lo óptimo es conseguir que las mismas lleguen antes de los 50 primeros ms, de manera que el oído pueda integrarlo.

Para calcular el tiempo de reverberación medio del teatro hemos obtenido para cada posición de la fuente el promedio de los valores de cada punto de medida a las distintas frecuencias. El valor final se representa en la figura 5.

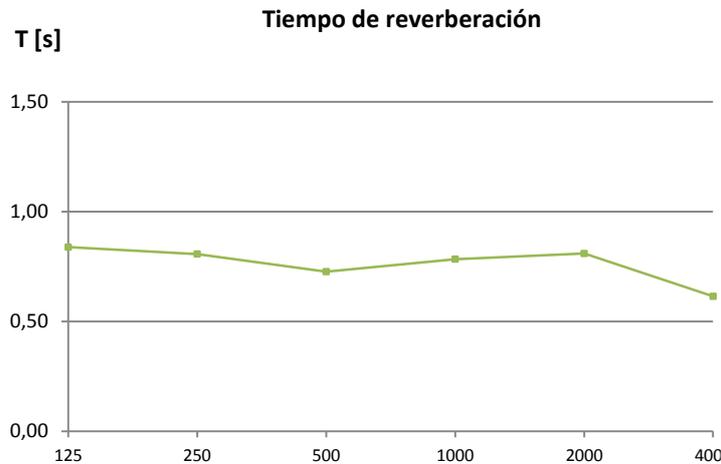


Figura 5.- Tiempo de reverberación medio.

Podemos ver que el TR del recinto es bajo, lo cual es bueno ya que nos interesa ante todo una buena comprensión de la palabra. Calculando la media aritmética de los valores medios obtenidos para cada posición de fuente, independientemente de su frecuencia obtenemos un valor igual a 0,76 s; que podría considerarse como el tiempo de reverberación del teatro.

Energía –C₅₀ (Speech Average)

Existen distintos parámetros para medir la proporción efectiva de las primeras reflexiones. En nuestro caso analizaremos la claridad de la voz (parámetro C₅₀), fundamental para recintos dedicados a la palabra. Su valor se obtiene como la energía que llega al oyente durante los primeros 50 ms incluido el sonido directo y la que llega después.

$$C_{50} = 0,15 \cdot C_{50}(500\text{Hz}) + 0,25 \cdot C_{50}(1\text{kHz}) + 0,35 \cdot C_{50}(2\text{kHz}) + 0,25 \cdot C_{50}(4\text{kHz})$$

Representamos en la figura 6 el citado valor C₅₀ (Speech Average) para cada una de las siete posiciones de medida consideradas con la fuente situada en el escenario.

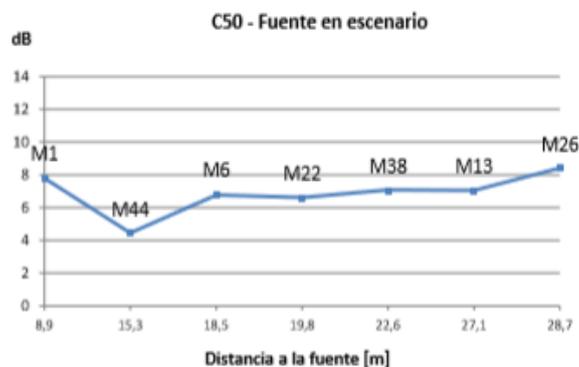


Figura 6.- Valores C₅₀ para siete posiciones de medida con la fuente situada en el escenario.

Inteligibilidad %AlCons

El parámetro %AlCons se basa en la pérdida de articulación de las consonantes, siendo un buen indicador de la calidad acústica y uno de los más orientativos a la hora de calificar la inteligibilidad en un recinto. En la tabla 1 aparecen los valores recomendados para el %AlCons.

%AICons	STI/RASTI	Inteligibilidad
0% – 1.4%	0.88 – 1	Excelente
1.6% – 4.8%	0.66 – 0.86	Buena
5.3% – 11.4%	0.5 – 0.64	Aceptable
12% – 24.2%	0.36 – 0.49	Pobre
27%1 – 46.5%	0.29 – 0.34	Mala

Tabla 1.- Valores %AICons recomendados.

En la figura 7 se representa la distribución de valores %AICons para el total de las medidas con la fuente situada en el escenario, es decir, para 44 medidas. En ella puede apreciarse que hasta un 41% (18 medidas) del total tiene un %AICons del 3%. Éste es más que un valor aceptable. Es un buen dato. Incluso es más favorable aún si tenemos en cuenta que le sigue un porcentaje del 34% de las medidas cuyo porcentaje es del 2%.

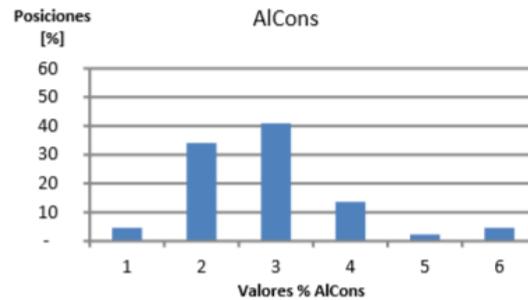


Figura 7.- Distribución de los valores %AICons.

Ruido de fondo

El ruido de fondo medio medido en el teatro viene representado en la figura 8, así como su acotación por la curva NC correspondiente (NC40). El nivel promedio obtenido es superior al recomendado para teatros (curva NC-30). Se trata de una característica difícilmente corregible en un teatro al aire libre, dado que viene provocado por factores externos. Por ejemplo, factores como la existencia de carreteras próximas al teatro. Como las medidas de ruido de fondo fueron tomadas durante el día, con vistas a representaciones que se pudieran realizar por la noche, este nivel es probable que disminuya y se acerque algo más a las recomendaciones.

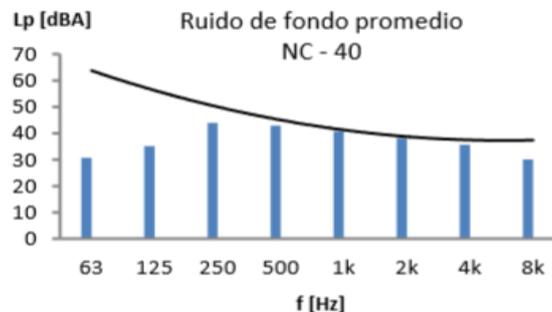


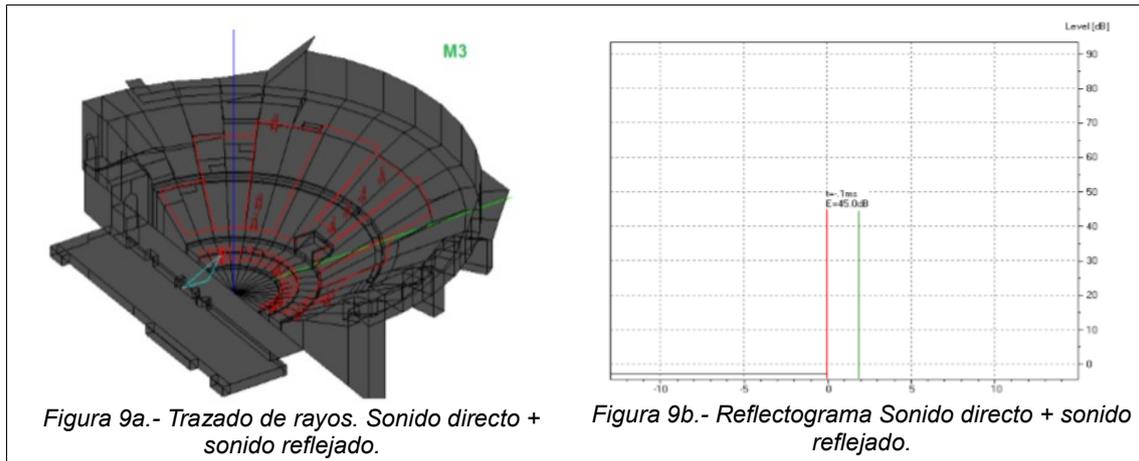
Figura 8.- Ruido de fondo del Teatro Romano de Medellín.

Simulación del teatro

Como un ejemplo de los resultados obtenidos mediante la simulación realizada, podemos ver

que en las mejores posiciones el sonido directo y la primera reflexión son del mismo nivel aproximadamente y distanciados entre sí un tiempo mínimo (entre 2 y 5 ms de retardo). Todas ellas tienen en común que esta primera reflexión se produce en el suelo de la orquesta que, por las características materiales del mármol que la conforma, refleja la onda que le llega prácticamente sin pérdidas.

Un ejemplo del comportamiento que se espera y que es un reflejo de la idea de los teatros romanos se puede ver en la medida M3 que se muestra en la figura 9a.



En la figura 9b podemos observar que el retardo entre ambos rayos es mínimo, 2 ms, y además el nivel es aproximadamente el mismo para los dos. Este hecho producirá, por tanto, un incremento de unos 3 dB en la percepción del sonido en esta posición.

6. CONCLUSIONES

El nivel de ruido de fondo es una condición primordial para la inteligibilidad óptima de estos recintos. El nivel promedio obtenido, con una curva NC40, supera el recomendado para este tipo de recintos.

El tiempo de reverberación obtenido para el Teatro Romano de Medellín (aforo 3000 espectadores) fue de 0,76 s. No es un tiempo de reverberación alto si se compara con otros teatros del género, como por ejemplo el cercano Teatro Romano de Mérida (aforo 6000 espectadores), cuyo valor de TR es 1,3 s [3]. El valor obtenido puede considerarse adecuado para el tipo de actividad a realizar y podemos observar cómo se mantiene aproximadamente constante para las distintas frecuencias decayendo únicamente en las altas.

Para la Claridad de la voz, los valores recomendados para el parámetro C_{50} (Speech Average) dado por L.G. Marshall [4] son superiores o iguales a 2 dB. Obtuvimos un valor medio C_{50} (Speech Average) de 7,7 dB. Ampliamente sobrepasa esos 2 dB de límite y, por tanto, es un dato positivo en cuanto a la comprensión de la palabra en el teatro.

La medida de la inteligibilidad, mediante el empleo de los valores %Alcons, nos dio unos resultados de que aproximadamente un 73% de los puntos de medida poseían un %Alcons de entre el 2 y el 3%, pudiendo considerar la inteligibilidad del recinto como buena-excelente.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por : Junta de Extremadura, Consejería de Economía, Comercio e Innovación, Gobierno de Extremadura (GR10175), Fondo Social Europeo y Fondo Europeo para el Desarrollo Regional (FEDER).



GOBIERNO DE EXTREMADURA
Consejería de Empleo, Empresa e Innovación

GOBIERNO DE EXTREMADURA



7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. REDONDA FERNÁNDEZ. Evolución histórica desde la antigüedad hasta su actual integración en los procesos constructivos (Universidad da Coruña, TFG Julio 2013).
- [2] M. del AMO. El Teatro Romano de Medellín, separata de las Actas del Simposio: El Teatro Clásico en la Hispania Romana (Badajoz, 1982).
- [3] V. MORGADO SERRANO. Estudio de las características acústicas del Teatro Romano de Mérida y su entorno, Universidad de Extremadura (Extremadura, 2005).
- [4] L.G. MARSHALL. Experience with early-to-late reverberation ratios as a measure of auditorium acoustics (J. Acoust. Soc. Am. 89, 1991).