

ANÁLISIS ACÚSTICO DE CUATRO SALAS SIGNIFICATIVAS EN LA PROVINCIA DE MÁLAGA

REFERENCIA PACS: 43.55.+p

Anaya Ortega, María Teresa⁽¹⁾; Céspedes Ramos, María Ángeles⁽¹⁾; Martín Cruzado, Carlos G.⁽²⁾; Luna Ramírez, Salvador⁽¹⁾.

⁽¹⁾: Dpto. Ingeniería de Comunicaciones. ETSI Telecomunicación. Universidad de Málaga. Campus de Teatinos. 29071. Málaga. España. Tfno: +34 952137186. Correo-e: mai_ao@hotmail.com; mara_12487@hotmail.com; sluna@ic.uma.es

⁽²⁾: Genuix. Sistemas Electroacústicos Avanzados. C\ Saint Exupery. 29007. Málaga. España. Tfno: +34 951212351. Correo-e: carlos@genuix.es

ABSTRACT

This paper describes and analyses a very intense campaign of acoustical measurements over four different and significant premises at the province of Málaga (*Teatro Cervantes, Centro Cultural, Las Lagunas Theatre, and the Trade Fairs and Congress Centre*). ISO-3382 has been the reference document for the measurement conditions and the calculation of acoustical parameters, although the number of measurements is much higher than required, and, thus, the analysis can be very exhaustive, especially about the room acoustical behaviour through different positions of the audience.

RESUMEN

En el presente trabajo se muestran y analizan las mediciones acústicas realizadas en cuatro salas de importancia en la provincia de Málaga (*Teatro Cervantes, Teatro Las Lagunas, Palacio de Congresos de Málaga y Sala de Diputación*). Se ha tomado como referencia la norma ISO-3382 para el cálculo de ciertos parámetros como el tiempo de reverberación, la claridad sonora y la definición. Se ha aumentado sensiblemente el número de mediciones referidas en la norma. Esto ha posibilitado realizar un análisis más exhaustivo y construir gráficos que muestran el comportamiento acústico de la sala en cada punto.

1. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

En el presente trabajo se caracterizaron acústicamente cuatro salas destacadas en la provincia de Málaga, principalmente por su uso en el que la acústica toma parte fundamental. Estas son:

- a) Teatro Cervantes (Málaga). Teatro principal de la capital con espectáculos de todo tipo, incluyendo ópera, orquesta, música ligera, discurso y actos homenaje, etc. Se puede considerar una sala de polivalente, aunque el principal es la música.
- b) Centro Cultural Provincial (Málaga). Sala también polivalente, aunque destaca el teatro y las formaciones musicales de cámara.
- c) Teatro Las Lagunas (Mijas). De similares características al centro cultural, aunque de mayor aforo.
- d) Palacio de Congresos y Ferias (Málaga). Más concretamente, se ha caracterizado su sala principal. En este caso, tal como su nombre indica, el uso principal es de la palabra.

La tabla 1 y Figura 1 presentan, respectivamente algunas características de los recintos elegidos y una panorámica de los mismos.

Tabla 1: Características principales de los recintos analizados

| | T. Cervantes | C. C. Provincial | T. Las Lagunas | P. Congresos |
|----------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| Volumen | 9137 m ³ | 1894 m ³ | 5288 m ³ | 6839 m ³ |
| Aforo | 1104 | 290 | 627 | 901 |
| Nº Mediciones | 135 | 62 | 121 | 154 |

En cuanto al equipamiento usado, la fuente sonora (omnidireccional y dodecaédrica, marca y modelo RIVAS RSAN-AG) se sitúa en el escenario a una altura de 1,5m respecto al suelo y los micrófono usados (omnidireccional *Audix TR-40* y bidireccional *T-Bone RM-700*) a 1,2m, que es la elevación correspondiente a la altura media de los oídos de los oyentes en las sillas típicas. Se realizaron medidas sólo en la mitad del recinto, puesto que las salas estudiadas son arquitectónicamente simétricas y asumiendo que su acústica también lo es. De la parte izquierda se realizaron algunas medidas (entre 3 y 5 por recinto) para verificar dicha hipótesis de simetría acústica a través de la comparación entre dos medidas en posiciones simétricas.



a) Teatro Cervantes



b) Centro Cultural Provincial.



c) Teatro Las Lagunas. Mijas.



d) Palacio de Congresos.

Fig. 1: Panorámica de las salas analizadas

Las medidas se realizaron con escenario vacío, sin telón y sin público en el recinto. Para la obtención de resultados con sala llena se usó el método expuesto en [1] que permite la obtención de diversos parámetros acústicos en sala llena a partir de datos medidos con la sala vacía. Para ello es necesaria la información de la variación del coeficiente de absorción de los asientos por estar vacíos o llenos, asumiendo que esa es la única variación en la sala.

El software de medición utilizado ha sido *Easera* (v.1.1.3), a través del cual se obtiene la respuesta al impulso en cada medida, obteniendo posteriormente los valores de los parámetros acústicos que caracterizan las salas según la norma ISO-3382. Los parámetros acústicos que se han analizado son el tiempo de reverberación (TR), la sonoridad (G), la claridad de la voz (C_{50}) y la claridad musical (C_{80}).

A continuación se hace un análisis pormenorizado por sala y aquellos parámetros acústicos considerados de mayor relevancia por la información que proporcionan.

2. TIEMPO DE REVERBERACIÓN (TR)

Para estudiar el TR se ha obtenido el valor de TR_{mid} medio en cada una de las salas, posteriormente dichos valores se comparan con el margen de valores fijados como objetivo, según [2], para una buena acústica en salas polivalentes. La Tabla 2 presenta dichos resultados. Hay que destacar que los cuatro recintos son espacios multifuncionales, es decir, tienen usos de palabra (conferencias, teatros, etc.) y de música (conciertos, teatros musicales, etc.).

Tabla 2: TR_{mid} promedio en cada recinto

| | T. Cerv. | C. C. Prval. | T. Las Lagunas | P. Congresos | Recomendación (Sala ocupada) |
|------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------------------|
| TR_{mid} | 1,835 seg | 1,49 seg | 1,26 seg | 1,05 seg | $1,2 \leq TR_{mid} \leq 1,5 \text{ s}$ |

En los casos del Centro Cultural Provincial y el Teatro Las Lagunas los resultados obtenidos se encuentran dentro del margen establecido como óptimo. Por el contrario, el TR_{mid} en el Teatro Cervantes es mayor y en el Palacio de Congresos es menor. Un punto importante en el análisis acústico de salas es conocer ampliamente el uso de dicho recinto. Sabiendo que en el Teatro Cervantes la música ocupa un papel fundamental, el hecho de que el TR sea mínimamente superior al recomendado no será desfavorable para la acústica; ya que para los usos de música se aconseja un TR alto de forma que se obtenga mayor viveza. En el Palacio de Congresos el caso es el contrario, su uso principal es la palabra y por tanto, es aceptable un TR inferior al recomendado.

En general hay que destacar que el TR es bastante homogéneo en todas salas lo que es bastante favorable. Incluso en los recintos que tienen palcos o anfiteatros, el TR no se desvía en exceso de la media. Como ejemplo, en la Figura 2 se exponen los resultados obtenidos en los dos teatros. Los valores de TR_{mid} se representan en función de la distancia a la fuente sonora (localizada en el escenario).

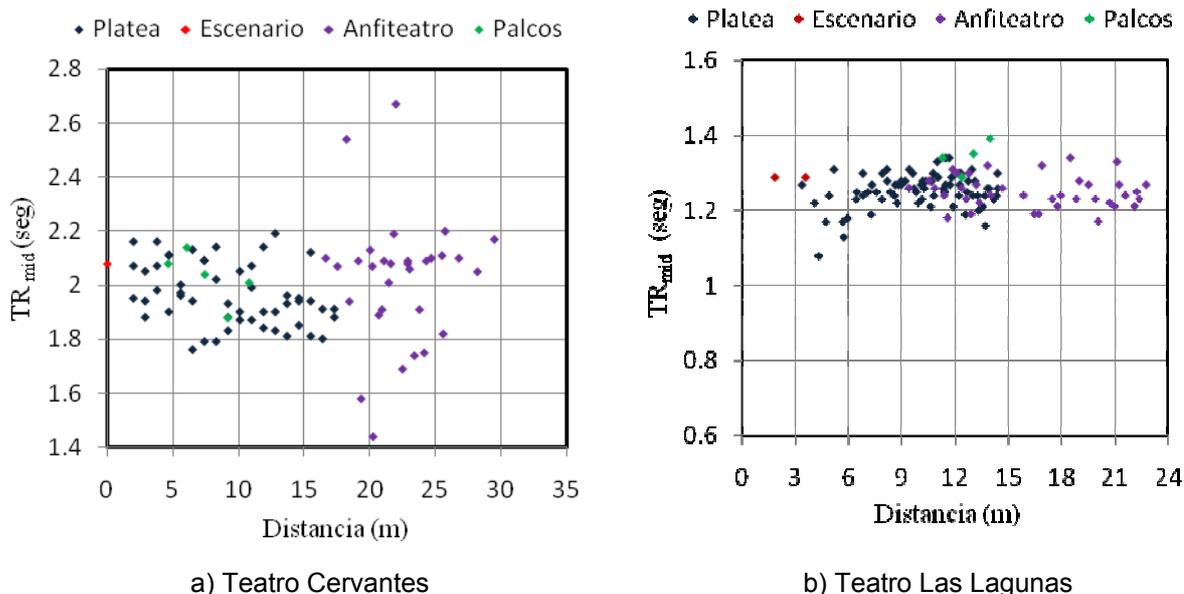


Fig.2: Valores de TR_{mid} en sala ocupada según distancia a la fuente sonora

3. CLARIDAD MUSICAL (C₈₀) Y CLARIDAD DE LA VOZ (C₅₀)

Ambos parámetros son relaciones energéticas entre la energía sonora que llega al oyente durante los “t” primeros segundos desde la llegada del sonido directo y la energía restante. Desde un punto de vista matemático la diferencia fundamental es el límite temporal escogido (t). Desde punto de vista subjetivo ambos parámetros cuantifican la inteligibilidad del sonido, en el caso de C₅₀ para usos de palabra y en el caso de C₈₀ para usos de música.

Se ha obtenido el valor de C_{80,mid} y C_{50,mid} medio en cada una de las salas, y posteriormente dichos valores se comparan con el margen de valores fijados como objetivo en [3]. La Tabla 3 muestra los resultados promedio. En dicha tabla se observa que en todos los recintos se consigue un valor óptimo. A su vez, la Figura 3 muestra el valor de C_{80,mid} en cada posición de dos de los recintos analizados. Con esta representación, puede observarse la evolución espacial del parámetro de claridad.

Del análisis de las medidas se puede concluir que C₈₀ disminuye a medida que nos alejamos de la fuente sonora (localizada en el escenario), debido a que la concentración de primeras reflexiones es menor cuando el receptor está a mayor distancia de la fuente. Se observa en la Figura 3 cómo C₈₀ baja en la zona de la platea, donde la distancia al escenario es mayor.

Tabla 3: C_{80,mid} y C_{50,mid} promedio en cada recinto

| | T. Cervantes | C. C. Prval | T. Las Lagunas | P. Congresos | Recomendado (sala ocupada) |
|---------------------|--------------|-------------|----------------|--------------|-------------------------------|
| C _{80,mid} | | 6,9 dB | 2,55 dB | 3,5 dB | 2 dB ≤ C ₈₀ ≤ 6 dB |
| C _{50,mid} | 1,2 dB | | | | C ₅₀ > -1,5 dB |

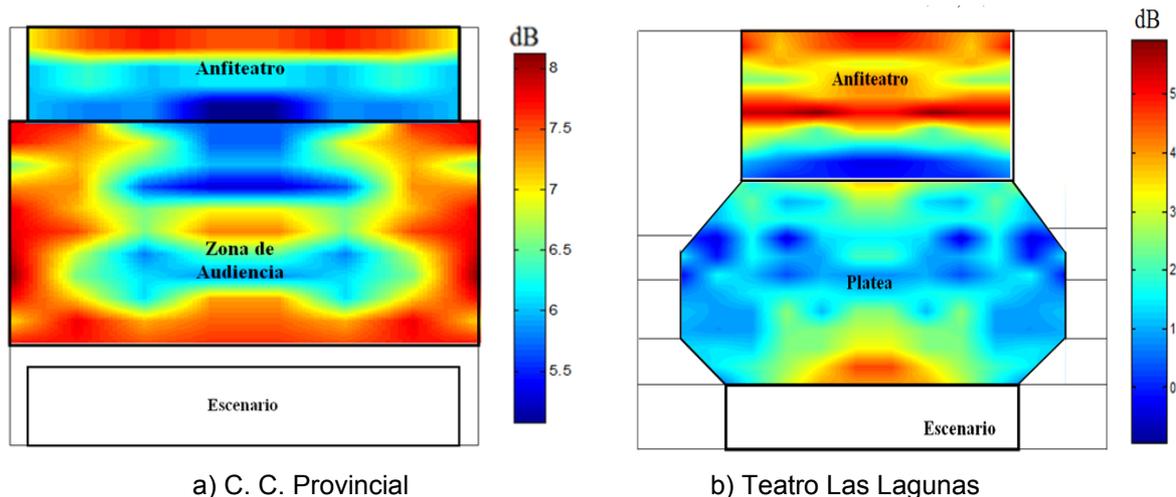


Fig.3: Valores de $C_{80,mid}$ en sala ocupada.

Un segundo comentario está en que en los anfiteatros el valor de C_{80} aumenta a pesar de estar a mayor distancia de la fuente. Esto se debe a la llegada de primeras reflexiones a esta zona procedentes del techo. Hay que tener en cuenta que la mayor parte de reflexiones primarias son generadas por el techo y las paredes laterales. Si aumenta el número de reflexiones primarias, la diferencia entre energía sonora temprana y energía sonora tardía será mayor y por tanto, el valor de C_{80} aumenta. Este fenómeno acústico es más o menos intenso en función de la arquitectura del techo, los materiales del recinto y el volumen de éste. En el Centro Cultural, Figura 3 (izquierda), se produce este fenómeno acústico de forma menos intensa que en el Teatro Las Lagunas (derecha), ya que su volumen es menor.

4. SONORIDAD (G)

Desde un punto de vista subjetivo la sonoridad cuantifica la amplificación natural que genera un recinto. Este parámetro dependerá de tres factores: el nivel de campo reverberante, la distancia a la fuente sonora y la cantidad de superficie que se encuentre ocupada. La Tabla 4 muestra el valor de G_{mid} promedio en cada una de las salas, junto con el margen de valores fijados como objetivo en [4]. Todos los recintos alcanzan el criterio indicado. De manera análoga al parámetro de la claridad, la Figura 4 muestra el valor de G_{mid} en cada posición de dos de los recintos analizados.

Tabla 4: G_{mid} promedio en cada recinto

| | T. Cervantes | C.C. Prval. | T. Las Lagunas | P. Congresos | Recomendado (Sala ocupada) |
|-----------|--------------|-------------|----------------|--------------|----------------------------|
| G_{mid} | 9,9 dB | 13,1 dB | 7,65 dB | 2,65 dB | $G > 0$ dB |

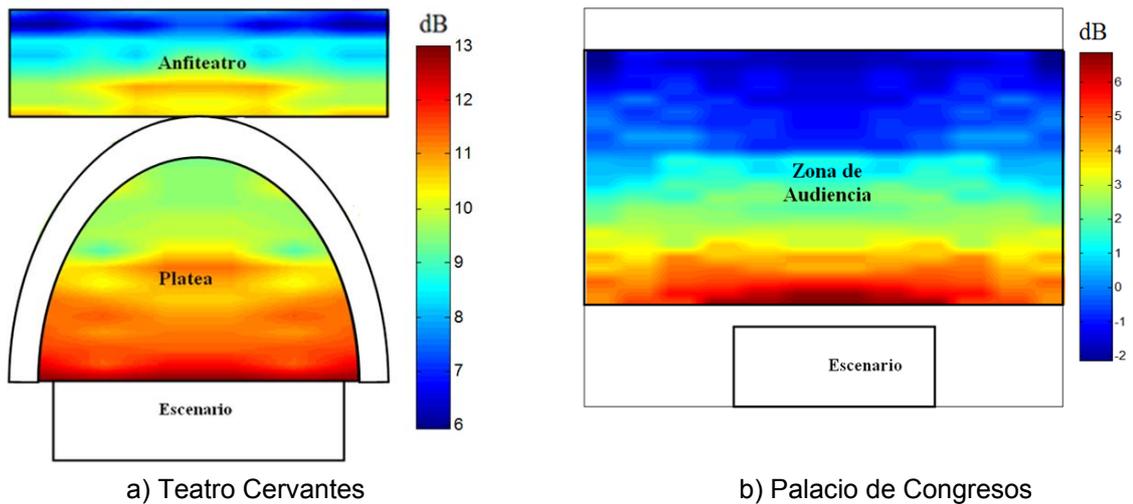
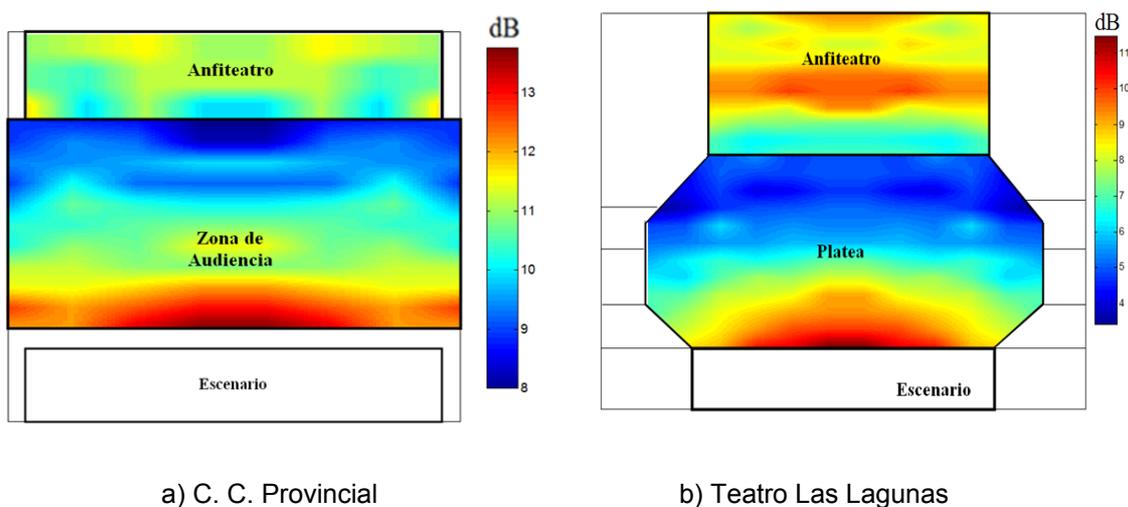


Fig.4: G_{mid} en sala ocupada para distintos recintos.

Con este análisis, también pueden obtenerse algunas conclusiones. Un objetivo que se persigue en acústica es que la sonoridad sea homogénea en todo el recinto. Por la tanto la primera conclusión destacada es que en las salas estudiadas la sonoridad no es homogénea, de forma que la sonoridad detectada por el oyente será muy distinta en función de su posición. La segunda conclusión es que se aprecia cómo G_{mid} tiene una clara dependencia de la distancia a la fuente sonora (localizada en el escenario). Cuanto mayor es la distancia, menor es el valor de G_{mid} , tal como se observa en la Figura 4.

Por último, la tercera conclusión se refiere al comportamiento de la sonoridad en la zona del anfiteatro, para lo que se adjunta la Figura 5, que incluye dichas mediciones en otros recintos. En esta figura se observa cómo el valor de G_{mid} aumenta a pesar de estar a mayor distancia del escenario, debido a la mayor concentración de primeras reflexiones en esta zona. La razón fundamental es que las reflexiones generadas por el techo alcanzan al oyente con mayor potencia.



a) C. C. Provincial

b) Teatro Las Lagunas

Fig.5: G_{mid} en sala ocupada para distintos recintos (con anfiteatro).

5. CONCLUSIONES

El uso que tiene una sala es fundamental a la hora de estudiar su acústica. Por ello, es importante analizar los valores medios obtenidos de los distintos parámetros acústica desde ese punto de vista. Al respecto de los recintos analizados en el presente estudio. Se concluye que la acústica de los recintos es muy aceptable para su uso polivalente, es decir, usos de música y usos de palabra.

En algunos casos del presente estudio existirán casos no se han podido cumplir a la vez dos requisitos acústicos puesto que entraban en conflicto, tomando, por tanto, un valor de compromiso. Un ejemplo de ello ha sido el caso de los anfiteatros, donde la profundidad (D) debe ser inferior a la altura (H) para que la sonoridad no descienda mucho en la platea, Figura 6. Por otro esta condición vendrá en detrimento del número de localidades del recinto. En el teatro Las Lagunas $D (4,47\text{m}) > H (2,96\text{m})$, optando el diseñador, por tanto, por más localidades en detrimento de la sonoridad bajo el anfiteatro.

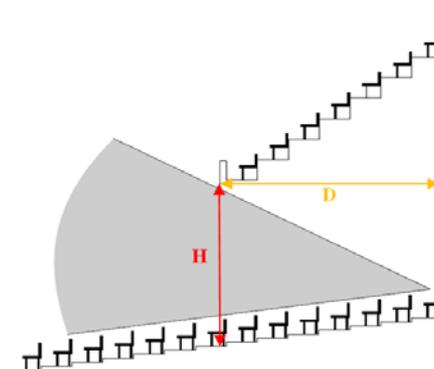


Fig.6: Esquema de anfiteatro sobre platea

6. REFERENCIAS

- [1] H. Arau. *ABC de la acústica arquitectónica*. Barcelona: CEAC, 1999.
- [2] A. Carrión Isbert. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona: Edicions UPC, 1998.
- [3] H. Arau. *¿Es el criterio acústico el paradigma de la excelencia acústica en el diseño de salas?*, 2008. Documento pdf accesible por internet en la dirección: <http://www.sea-acustica.es/Coimbra08/ci001.pdf>
- [4] H. Arau, "La acústica del reconstruido gran teatro del Liceo de Barcelona", *Sonido y Acústica*, Vol 3, Mayo 2008, Nº1, 6-12.
- [5] A. L. León Rodríguez y J. León Rodríguez. *Los índices de cualificación acústica en la rehabilitación de teatros: su cálculo por programas de simulación por ordenador*. Documento pdf accesible por internet en la dirección: <http://www.sea-acustica.es/publicaciones/4355gx052.pdf>