



## ESTUDIO DE LAS CONDICIONES ACÚSTICAS DEL TEATRO MUNICIPAL DE ALGEMESÍ (VALENCIA). PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA AUDICIÓN MUSICAL

PACS: 43.55.Gx, 43.55.Ka, 43.55.Mc, 43.55.Br

Segura, J.<sup>a</sup>; Romero, J.<sup>b</sup>; Giménez, A.<sup>b</sup>; Cerdá, S.<sup>b</sup>; Navasquillo, J.<sup>a</sup>; Navarro, E.A.<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Institut de Robòtica, Universitat de València

Poligon de la Coma s/n. 46980 Paterna. València (Spain)

Tlf: +34 963 543 589,

Email: [jaume.segura@uv.es](mailto:jaume.segura@uv.es)

<sup>b</sup> Grup d'Acustica Arquitectònica, Ambiental i Industrial, E.T.S.I.I., Universitat Politècnica de Valencia

Camí de Vera s/n, Edif. D4-D5, 46022 Valencia (Spain)

Tlf: +34963877000 ext85240,

Email; [agimenez@fis.upv.es](mailto:agimenez@fis.upv.es)

### ABSTRACT

In this work, the acoustical conditions of the Municipal Theatre in Algemesi (Valencia – Spain) have been studied. A theoretical model has been developed to evaluate the acoustics of the building by means of the ray tracing method. Measurements have been made in order to validate the model.

Measurements have shown some acoustical problems, between the proscenium and the first seat rows. We have proposed some *non-intrusive* solutions to solve these acoustical problems by using the ray-tracing model.

### RESUMEN

En este trabajo se ha estudiado las condiciones acústicas del Teatro Municipal de Algemesí (Valencia -Spain). Se ha desarrollado un modelo teórico para evaluar la acústica del edificio por medio del método de trazado de rayos y se han realizado medidas para validar el modelo.

Las medidas han mostrado algunos problemas acústicos, los cuales se presentan entre el proscenio y las primeras filas. Usando el modelo de trazado de rayos se ha propuesto algunas soluciones *no intrusivas* para resolver estos problemas.

### INTRODUCCIÓN

La rehabilitación de edificios para audición es un área prominente en el campo de la acústica de salas. En este artículo se describe el estudio realizado en un teatro de la ciudad de Algemesí (Valencia).

El Teatro Municipal de Algemesí (antiguo Teatro Español) se encuentra ubicado en la calle Lepanto. Este edificio fue construido en el año 1925 y desde entonces ha cumplido diversas funciones como: teatro, cine y sala de fiestas.

En 1998 empezaron las obras de rehabilitación y restauración del local. Éstas intentaron mantener el carácter original de la sala, pero con las adaptaciones pertinentes para un teatro moderno con las dificultades que ello entrañaba. El Teatro fue reinaugurado en 2002. La rehabilitación incluyó un nuevo espacio para la orquesta, nuevos vestuarios y la rehabilitación del patio de butacas. La capacidad del teatro es de 700 espectadores.

## **ANÁLISIS DE LA SALA**

En el proyecto de rehabilitación de este edificio se tuvieron que valorar más los aspectos estéticos, para conservar el ambiente que en su tiempo presentaba este teatro, en detrimento de otros aspectos de calidad sonora. Este proyecto no incluía estudio acústico, así que después de la actuación se detectaron una serie de anomalías que forzaron su necesidad.

En un principio, el estudio acústico que se realizó a posteriori evidenció estas deficiencias y en él se realizaron propuestas para su minimización. Se observaron anomalías en el aislamiento de la sala y ecos localizados en la zona del foso y el proscenio hasta las primeras filas de butacas. Este último fenómeno debido a que las dimensiones de la caja escénica son muy grandes y existe una *desadaptación* en la interfase entre los dos recintos<sup>2</sup>.

Para analizar objetivamente este problema se generó un modelo matemático del edificio en 3D usando el programa EPIDAURE<sup>®</sup> (un programa de trazado de rayos para la simulación de acústica de salas)<sup>1</sup>. Este modelo ha sido validado por medidas acústicas<sup>1</sup>.

### ***Medidas experimentales***

Con el fin de evaluar el aislamiento de la sala se realizó una medida del índice de aislamiento y se observó una deficiencia de éste entre la sala y las viviendas colindantes, lo cual genera un exceso de transmisión de niveles sonoros, produciéndose una vulneración del artículo 13 de la Llei 7/2002 de la Generalitat Valenciana, de Protección contra la Contaminación Acústica. También se midieron una serie de parámetros acústicos (EDT, RT10, RT20, RT30, STI, D50, C80, ...) en el interior de la sala, según la norma ISO 3382:1997<sup>4</sup> con el hardware MLSSA, para así poder ajustar el modelo y realizar predicciones fiables. Para solventar estos problemas se han propuesto algunas soluciones.

### ***Modelización numérica***

Para hacer un análisis exhaustivo de la sala y así poder estudiar cuidadosamente los problemas detectados se realizó un modelo matemático para su uso con el método de trazado de rayos. Este modelo fue diseñado con 1200 superficies y se han seleccionado los materiales específicos de cada superficie, de manera que cada uno de ellos tiene una curva de absorción respecto a la frecuencia, hecho que afecta a la absorción global para el cálculo teórico de los parámetros mencionados.

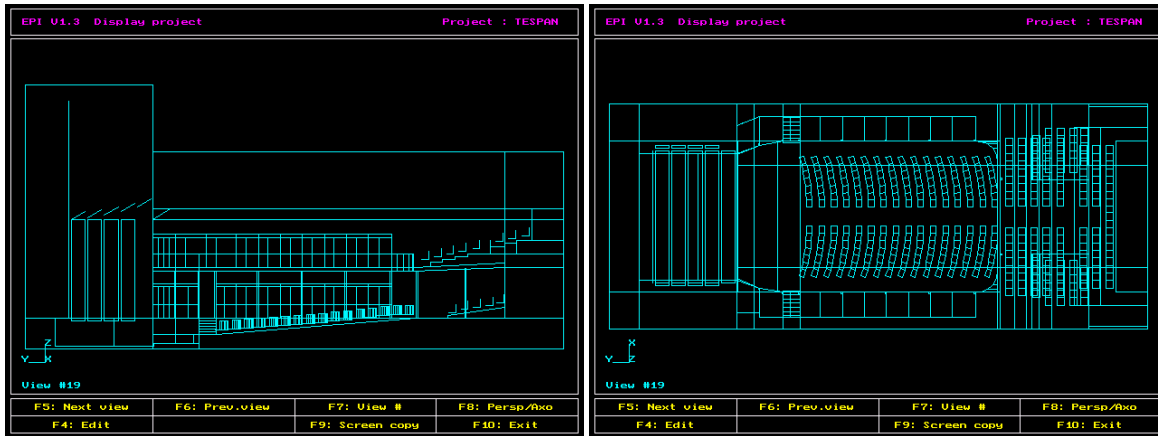


Figura 1: Planos de sección y planta del modelo (con las propuestas de actuación)

	Superficie (m <sup>2</sup> )	Frecuencia					
		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Parqué	2093.94	0.040	0.040	0.070	0.060	0.060	0.070
Enlucido	1468.78	0.120	0.100	0.070	0.090	0.070	0.050
Terciopelo	281.68	0.140	0.350	0.550	0.720	0.700	0.550
Butaca tapizada	244.93	0.300	0.320	0.270	0.300	0.330	0.330
Madera	1955.87	0.100	0.160	0.130	0.100	0.060	0.050
Contrachapado a 5cm de la pared	490.36	0.180	0.260	0.240	0.100	0.100	0.150
Entarimado de madera	285.64	0.090	0.090	0.080	0.190	0.210	0.220

Tabla 1: Coeficientes de absorción de los materiales usados <sup>3</sup>.

La fuente sonora se situó en el escenario y se estudió la sala como se había planteado en las medidas experimentales para poder tener una referencia comparativa entre el modelo teórico y el experimental.

La situación en el proscenio del escenario de la fuente fue en la posición (X,Y;Z) = (7.2, 30, 4.1) m.

De esta manera se han obtenido los siguientes resultados a partir del modelo teórico sin las propuestas realizadas para solventar los problemas anteriores:

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Abs. Aire (dB/100 m)	0.037	0.121	0.284	0.504	0.999	2.806
Factor medio de absorción	0.123	0.153	0.161	0.198	0.187	0.161
TR Sabine	1.94	1.55	1.45	1.17	1.19	1.20
TR Eyring	1.82	1.43	1.33	1.05	1.08	1.12
TR Estadístico (rayos)	2.01	1.61	1.51	1.22	1.24	1.24

Tabla 2: RTs promedios calculados (sin los paneles en el escenario)

Viendo los ecogramas para los seis observadores distribuidos por toda la sala, observamos que en la zona entre el proscenio y las primeras filas de butacas se observa el mismo fenómeno que habíamos descubierto antes en las medidas de parámetros acústicos y es el doble pico en el ecograma, lo cual suena como una especie de resonancia metálica (eco) al producir un ruido impulsivo en esta zona<sup>5</sup>. Esto es debido al efecto de desacople entre la sala del teatro y la caja del escenario. Para evitar este fenómeno, nuestra propuesta se basa en un conjunto de cuatro paneles reflectores móviles (con poca absorción), bien de madera barnizada o bien de metacrilato (según la estética que se busque), suspendidos entre los espacios libres entre los telones, instalados de

manera que pueden ponerse verticales para adaptarse a las necesidades del espectáculo que se represente y no impidan el movimiento de los telones verticales<sup>6,7</sup>. El resultado de esta propuesta lo podemos ver en las siguientes tablas y figuras.

f(Hz)	G (dB)	EDT	D50	C80	Ts	TI
125	-17.39	1.64	63.55	4.25	97.95	0.58
250	-18.22	1.15	72.65	6.21	71.88	0.64
500	-18.48	1.04	75.36	6.70	65.61	0.66
1000	-18.82	0.91	78.53	7.44	57.42	0.69
2000	-18.81	0.97	77.34	7.12	60.59	0.68
4000	-18.93	0.89	78.32	7.55	57.17	0.69

Tabla 3a: Resultados del receptor en la localización (7.2, 26, 2) con el panel

f(Hz)	G (dB)	EDT	D50	C80	Ts	TI
125	-17.90	1.75	66.46	4.03	100.96	0.59
250	-18.53	1.25	73.93	5.80	75.93	0.65
500	-18.64	1.09	75.66	6.34	69.23	0.66
1000	-18.91	0.91	78.71	7.30	58.34	0.69
2000	-18.91	0.95	77.55	6.99	61.48	0.68
4000	-19.10	0.90	78.92	7.37	57.81	0.69

Tabla 3b: Resultados del receptor en la localización (7.2, 26, 2) sin el panel

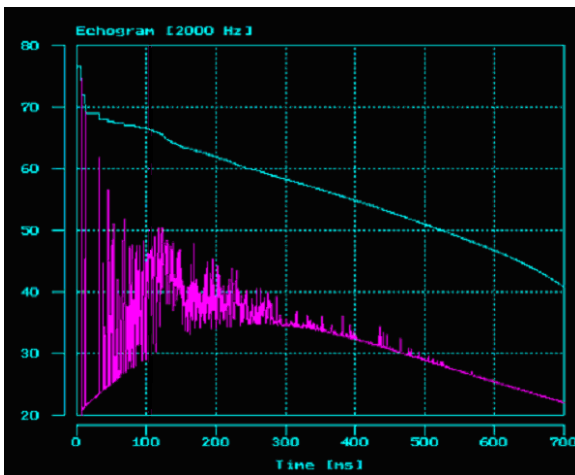


Figura 2a: Sin panel

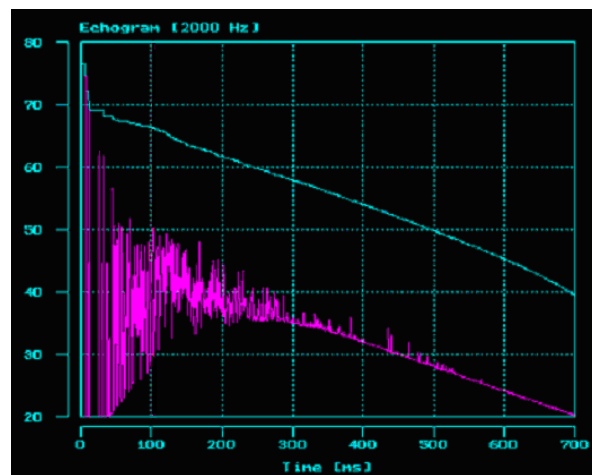


Figura 2b: Con panel

A partir de los ecogramas calculados hemos observado que en las localizaciones en la zona del foso y las primeras filas ha mejorado en cierta medida la recepción, reduciéndose sensiblemente el fenómeno de 'eco' que hemos mencionado anteriormente. Esta mejora aumenta a medida que los paneles cierran más la caja del escenario.

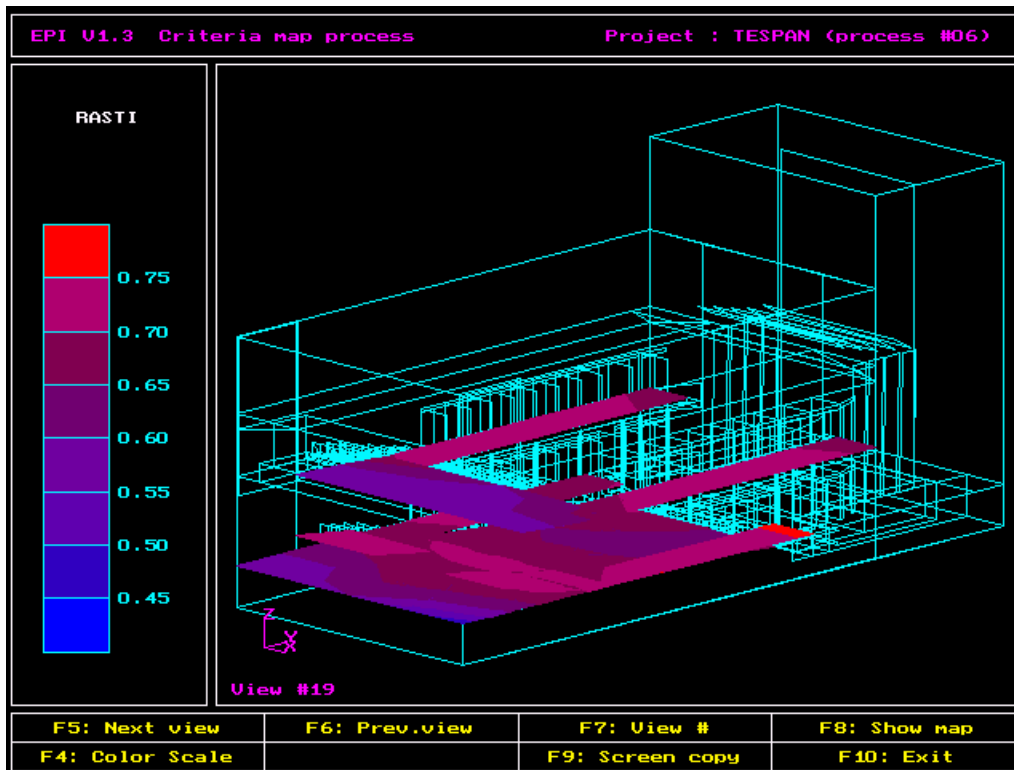


Figura 3: Gráfico de la distribución de RASTI calculado

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la actualidad, el Teatro Municipal tiene una acústica bastante buena, aunque la extremada altura de la caja del escenario hace que aparezca un pequeño problema de eco en las primeras filas del patio de butacas.

A partir de los resultados obtenidos en las simulaciones podemos decir que las propuestas realizadas para solventar los problemas acústicos de la sala han resultado ser no excesivamente agresivas y en cierto grado efectivas. Estas propuestas han mejorado sensiblemente la situación acústica en varios puntos de la sala.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
TR Estadístico (rayos)	1.81	1.40	1.28	1.05	1.07	1.09

Tabla 4: Resultado promedio calculado después de las actuaciones

A partir de los resultados obtenidos de las medidas vemos que la situación acústica de la sala es buena, excepto en algún punto. Con las propuestas realizadas obtenemos un cierto grado de mejora en los principales parámetros estudiados.

Las propuestas han sido realizadas ajustándonos a las posibilidades de actuación, para obtener un mayor nivel de eficacia en el resultado final. En todos los casos, estas propuestas han resultado ser en cierta manera efectivas (a partir de los modelos y de los cálculos realizados) para la resolución de los problemas planteados, por lo tanto los hemos tomado como buenos.

Por otra parte se está realizando el mismo modelo en otro programa de simulación de salas para comparar resultados y obtener parámetros que no permite el utilizado, EPIDAURE<sup>8</sup>.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se incluye en el marco del proyecto de investigación coordinado de referencia BIA2003-09306-C04, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia. También agradecer al Ayuntamiento de Algemés su colaboración y apoyo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. [C.S.T.B., 1994] C.S.T.B.: *Epidaure. Prediction of Auditorium Acoustics*, User's Manual. Version 1.0. 0'1 dB. Villeurbanne, 1994.
2. [Beranek, 1962] L. Beranek: *Music, Acoustics and Architecture*, John Wiley & Sons, 1962.
3. [Recuero i Gil, 1993] M. Recuero i C. Gil: *Acústica Arquitectónica*, E.U. de Ingenieros Técnicos de Telecomunicaciones, U.P.M., 1993.
4. [ISO 3382] ISO 3382: 1997, Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters
5. [Maercke i Van Martin, 1993] D. Maercke i J. Van Martin: "The Prediction of Echograms and Impulse Responses Within the Epidaure Software", *Applied Acoustics*, vol. 38, pp. 93-114, 1993.
6. [Segura i Navarro, 2001] J. Segura y E.A. Navarro: "Condicionament Acústic de l'Aula Magna de la Facultat de Farmàcia (Burjassot)", Laboratori d'Acústica. Departament de Física Aplicada. Universitat de València, 2001.
7. [Vela, 1996] A. Vela: "Análisis de Diferentes Métodos de Evaluación de la Calidad Acústica de un Local. Aplicación al Teatro Gayarre de Pamplona", Tesis doctoral. Facultat de Física de la Universitat de València, 1996.
8. [Vorländer , 1996] Vörländer M., "International round robin on room acoustical computer simulations," in Proceedings of the 15th International Congress of Acoustics, June 1995.