

MODELIZACIÓN ACÚSTICA DE LA BASÍLICA DE SANT JAUME (ALGEMESÍ, VALENCIA) PARA LA INSTALACIÓN DE DOS ÓRGANOS

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

Segura, J. ^a; Romero, J. ^b; Giménez, A. ^b; Cerdá, S. ^b; Navasquillo, J. ^a, Navarro, E.A. ^a

^a Institut de Robòtica, Universitat de València - Poligon de la Coma s/n-46980-PATERNA València (Spain) - Tlf: +34963543589, Email: jaume.segura@uv.es

^b Grup d'Acústica 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

ABSTRACT

In this work, the acoustical conditions of the Church of Saint James in Algemesí (Valencia – Spain) has been studied. A theoretical model has been developed to evaluate the acoustics of the building using the ray tracing method. Measurements have been done to validate this model.

This study has also been used to develop a model consisting of a set of specific sources which correspond to the model for two pipe organs in the Spanish Baroque style. These sources have been modelled by measuring different ranks or organ pipe families and by fitting each one of them in the model as they are in the project of the real organ. The result is a simulation of the response of the building to these sources. One of these organs has been refurbished and reinstalled at the Communion Chapel, and the other one is now being built. The installation of this pipe organ will be in the year 2008 (<http://www.orguebasilica.tk>).

RESUMEN

En este trabajo se ha estudiado las condiciones acústicas de la Basílica Menor de Sant Jaume en 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.

Este estudio también se ha usado para desarrollar un modelo de un conjunto de fuentes que corresponden a dos órganos de estilo barroco español. Estas fuentes han sido modeladas a partir de la medida de los diferentes registros o familias de tubos y ajustándolas en el modelo tal y como están proyectadas en el órgano real. El resultado es una simulación de la respuesta del edificio a estas fuentes. Uno de estos órganos ha sido restaurado y reinstalado en la Capilla de la Comunión, y el otro actualmente está siendo construido y su instalación se realizará en 2008 (<http://www.orguebasilica.tk>).

INTRODUCCIÓN

En este artículo se presenta el trabajo realizado en un estudio teórico-práctico de las condiciones acústicas de la Basílica Menor de San Jaime en Algemesí (Valencia) para estudiar la respuesta de la sala con dos órganos, que será la situación real a finales de 2008.

La nueva parte de la iglesia es de estilo barroco y fue construida en la segunda mitad del siglo XVI (entre 1550 y 1582) por Doménech de Gamieta en colaboración con Joan d'Alacant y Joan Matalí. A los pies de este cuerpo principal se encuentra la iglesia primitiva (conocida actualmente como Capella de la Comunió) que se comunica con el cuerpo principal por tres arcos.

La nave principal está compuesta por la nave absidal y dos corredores laterales que están compuestos por diversas capillas pequeñas. El ábside tiene un interesante crucero con arcos, nervaduras, contrafuertes y pilastras talladas. El edificio fue restaurado a finales del siglo XVIII (1789) y recubierto en 1890 y 1927 con estucos y decoración con pan de oro. La puerta principal se encuentra situada en su corredor lateral derecho. Es de estilo Renacentista (plateresco) con imaginería posterior en hornacinas ornamentales. Sobre el arco de la entrada descansa el campanario, construido en 1703.

En la actualidad la Basílica posee un órgano que fue construido en 1954, sustituyendo el anterior que fue destruido durante la Guerra Civil Española. El órgano restaurado ha sido instalado en la Capilla de la Comunió y fue inaugurado el 26 de junio de 2006.

La Basílica Menor de Sant Jaume fue declarada Edificio de Interés Cultural por el RD 3028/1979, BOE en 18/01/1980

El análisis acústico de edificios es muy útil para la instalación de nuevas fuentes sonoras como es, en nuestro caso, un nuevo órgano. Aquí no se han estudiado otras localizaciones para este instrumento ya que no es nuestro propósito. Podría ser un ejercicio interesante situar el órgano en otros lugares para estudiar la localización óptima de este instrumento dentro de la iglesia^{1,5}.



Figura 1: Emplazamiento actual del viejo órgano y del restaurado

MODELO NUMÉRICO DE LA BASÍLICA

Hemos generado un modelo matemático del edificio en 3D usando el programa EPIDAURE© (un programa de trazado de rayos para la simulación de acústica de salas)². Hemos usado este modelo para predecir el comportamiento acústico del edificio. Este modelo ha sido validado por medidas acústicas^{1,2}.

El proceso de modelización acústica consistió en la definición de todas las superficies presentes en el edificio. En nuestro caso, hemos utilizado planos de dos estudios de arquitectura diferentes: C. Cebrían (1985); M. Sender-R.Perelló (2000) y se ha modelado el edificio completo con 1314 superficies, (fig. 2a y 2b).

En esta simulación hemos usado 6 materiales básicos. Los coeficientes de absorción⁴ por frecuencias entre 125 y 4000 Hz de cada uno de ellos se muestran en la tabla 1.

Material	Superficie (m ²)	Coeficiente de Absorción (α)					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000Hz	2000 Hz	4000 Hz
Enlucido yeso	8565.95	0.120	0.100	0.070	0.090	0.070	0.050
Marmol	2164.58	0.010	0.010	0.010	0.020	0.020	0.010
Madera de pino	98.67	0.098	0.110	0.061	0.081	0.082	0.110
Madera ord.	525.29	0.100	0.160	0.130	0.100	0.060	0.050
Filtro ligero	180.57	0.020	0.040	0.100	0.210	0.570	0.920
Piedra	356.52	0.010	0.012	0.020	0.020	0.023	0.035
Aire (dB/100m)		0.037	0.121	0.284	0.504	0.999	2.806

Tabla 1: Materiales utilizados

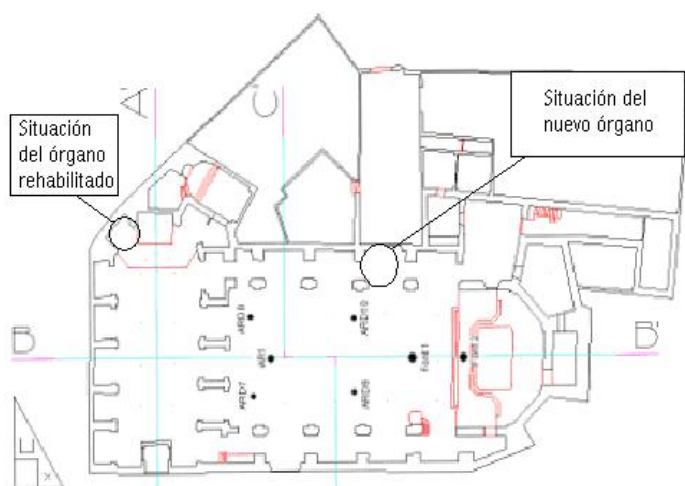


Figura 2a: Plano de la iglesia

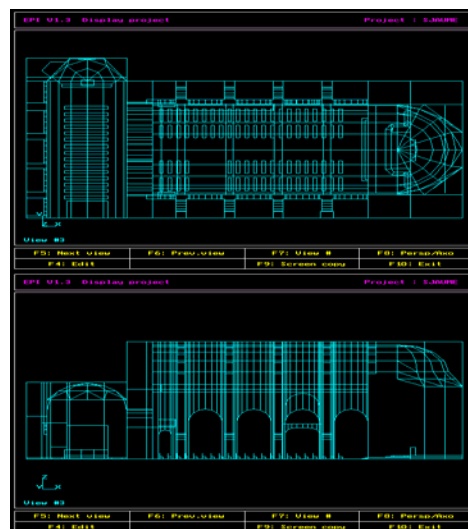


Figura 2b: Modelo de la iglesia

MODELO DEL ÓRGANO COMO CONJUNTO DE FUENTES SONORAS

El órgano es un instrumento muy complejo, ya que tiene muchos tubos organizados en registros, cada uno de los cuales está formado por varias docenas de ellos de diversos tamaños. En nuestro primer modelo, hemos considerado el instrumento como un conjunto de 8 fuentes sonoras⁵ situadas en una línea centrada en su emplazamiento real dentro del órgano (ver figura 1) y separadas (valores representados en la tabla 3). Por otra parte, también se ha considerado el instrumento como una fuente única situada en el extremo de la fachada de cada instrumento, mediante la interpretación de un "tutti", es decir todos los registros simultáneamente. En este trabajo presentamos este segundo caso para los dos órganos.

A fin de obtener el SPL del órgano como fuente sonora, se hizo una grabación digital de un cluster (con un MD), separados con 12 grupos de registros, (ver tabla 2) con la suficiente amplitud espectral (entre C3 y C6). Se midió durante 10 segundos el Leq (A) y el L_{máx} con un sonómetro de

clase 1 (CESVA SC-30). Los sonidos registrados y la medida sonométrica ha sido realizada simultáneamente a fin de poder comparar resultados.

f (Hz)	Flautado 4'	Flautado 8'	Clarín 4'	Gamba 8'	Octava 4'	Mixturas
125	96.7	89.0	96.7	98.9	90.6	92.7
250	95.4	97.5	95.4	94.8	95.9	93.3
500	93.5	97.1	93.5	92.6	93.4	94.3
1000	91.3	95.2	91.3	90.8	93.2	93.4
2000	87.0	85.4	87.0	83.7	91.2	92.5
4000	78.4	70.6	78.4	72.5	85.0	87.6
Leq10" (dBA)	82.7	88.0		82.3	84.2	90.2
Lmax	85.8	90.4		83.8	85.9	90.9

f (Hz)	Quincena 2'	Trompetería 4 8	Voz celeste 8/15	Violón 16'	Tutti
125	98.0	96.1	97.7	98.1	93.8
250	96.1	94.9	96.2	96.3	95.1
500	93.0	94.4	93.1	93.3	95.8
1000	90.4	93.3	90.7	90.4	94.3
2000	86.3	88.3	86.6	67.3	92.5
4000	74.6	80.4	74.9	57.3	87.2
Leq10" (dBA)	85.6	88.8	83.4	84.0	94.3
Lmax	86.5	89.7	84.8	85.0	95.6

Tabla 2: Resultados espectrales de SPL por registros y Leq

0.00 m	Fachada	Bajos	Tiples
0.20 m	Flautado 8'	Flautado 8'	Flautado 8'
0.40 m	Octava 4'	Violón 8'	Violón 8'
0.60 m	Violón 16'	Octava 4'	Octava 4'
0.80 m	Flauta Cónica 8'	Docena 2' 2/3	Docena 2' 2/3
1.00 m	Violón 8'	Quincena 2'	Quincena 2'
1.30 m	Lleno (4 hileras) - Mixturas	Llenos IV 1' 1/3	Llenos IV 1' 1/3
1.70 m	Pasillo (40 cm)	Bajones 4'	Clarines 8'
1.90 m	Nazardo		Travesera 8'
2.10 m	Sesquialtera		Flauta 4'
2.30 m	Quincena 2'		Decimoseptima 1' 3/5
2.50 m	Flautado octavante 4'		
2.70 m	Gamba 8' (estrecho)		
2.90 m	Corde Nuit (8' redondo)		
3.10 m	Voz Celeste 8/15		
3.30 m	Trompeta 8'		
3.50 m	Clarín 4'		
4.00 m	Pasillo (50-55 cm)		
		Pedal	
		Contras 16'	
		Acoplamiento a teclado	

Tabla 3: Registros órgano viejo

Tabla 4: Registro órgano rehabilitado

Características de las fuentes

También se ha considerado el efecto de la directividad de los tubos, fijando los valores de emisión en la parte frontal de la semiesfera radiante hacia la iglesia.

En este caso, hemos fijado el mínimo límite horizontal en 180° y el máximo en 360°, y el mínimo límite vertical en -90° y el máximo en 90°. Los siguientes gráficos corresponden a la simulación del órgano como una fuente única ("tutti") localizada en su ubicación real, en la fachada del arco del

órgano antiguo, cuyas coordenadas son (32.35,17.80,7.00) m. El órgano restaurado se sitúa en las coordenadas (3.40, 23.00, 2.0) m.

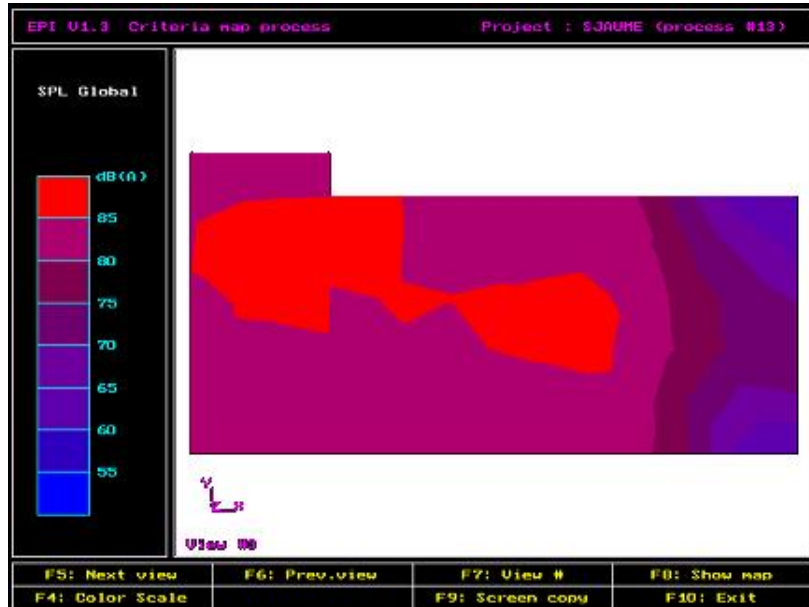


Figura 3: Distribución de SPL global y RASTI debidos a la fuente 'tutti'.

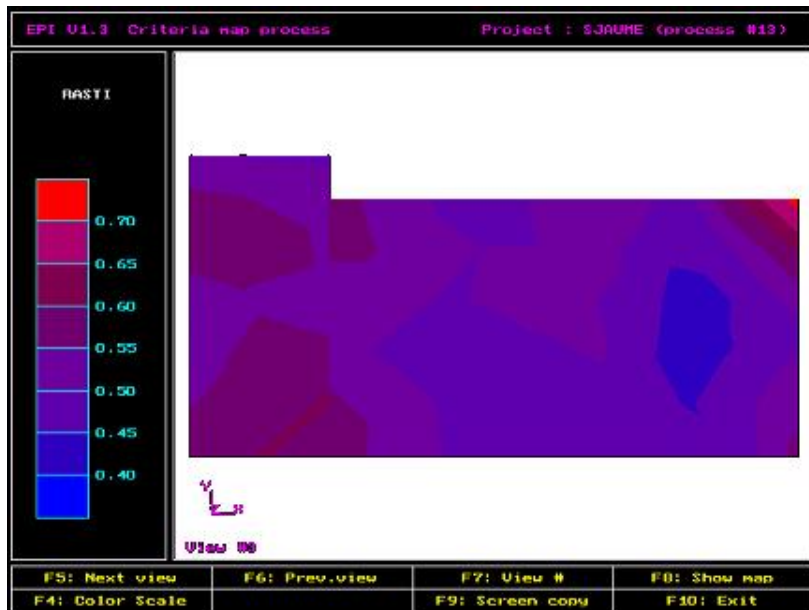


Figura 3: Distribución de SPL global y RASTI debidos a la fuente 'tutti'

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este estudio hemos analizado las condiciones acústicas en la Basílica Menor de Sant Jaume. Primero se ha estudiado de forma manera teórica, utilizando el método de trazado de rayos² y después de manera práctica, midiendo los principales parámetros acústicos, siguiendo los criterios de la norma ISO 3382⁸ para el ajuste del modelo. Esto nos ha permitido predecir el

comportamiento de la sala frente a diferentes fuentes sonoras, como es nuestro caso (dos órganos). Asimismo también podría ser utilizado como herramienta para evaluar propuestas de alteraciones posteriores en la estructura interior de la Basílica, para mejora de sus condiciones acústicas.

Se han realizado grabaciones de diferentes registros del órgano a fin de utilizarlas en la simulación de la respuesta de la sala con las dos fuentes. Los resultados son comparables, tanto en la simulación de los órganos como dos fuentes sonoras únicas como con conjunto de fuentes.

En la siguiente tabla se muestra el valor de TR y otros parámetros calculados a partir del modelo en la posición (37,10, 1.5) m:

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
TR Estad (Trazado de rayos) (s)	4.23	4.55	5.77	4.69	4.76	3.53
G (dB)	-22.16	-22.01	-21.19	-22.13	-22.34	-23.75
D50 (%)	22.92	22.07	18.31	22.46	23.29	30.79
C80 (dB)	-2.91	-3.16	-4.28	-3.14	-3.09	-1.48
Ts (ms)	201.69	206.47	228.58	207.80	210.34	181.76
TI	0.40	0.39	0.36	0.39	0.39	0.44

STI global = 0.40

Sound level = 88.0 dB(A), (G = -22.5)

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Beranek, L.L. (1962). *Music, Acoustics and Architecture*. New York: Wiley
2. C.S.T.B. *Epidaure. Prediction of Auditorium Acoustics*. User's Manual. Version 1.0. 0'1 dB. Villeurbanne, 1994.
3. M. Galindo, T. Zamarreño, S. Girón. Acoustic Analysis in Mudejar-Gothic Churches: Experimental Results. *Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 117 (5), pp. 2873-2888, 2005.
4. M. Recuero, C. Gil. *Acústica Arquitectónica*, E.U. de Ingenieros Técnicos de Telecomunicaciones, U.P.M., 1993.
5. Gade A. C. (1990) *The influence of architectural design on the acoustics of concert hall*. *Applied Acoustics*, 31, pp. 207-214
6. Barron, M. (1993) *Auditorium Acoustics and Architectural Design*, Spon Press
7. Proyecto de investigación "Establecimiento de parámetros acústicos determinantes de la calidad percibida en salas de concierto y auditorios. Propuesta para su aplicación en proyectos de nueva planta o rehabilitación" BIA2003-09306-C04, Plan Nacional de I+D
8. ISO 3382:1997 *Acoustics. Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters*

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado subvencionado por fondos FEDER y por el Ministerio de Educación y Ciencia, en el marco del - Proyecto de Investigación Coordinado de referencia BIA2003-09306

Asimismo agradecemos a Rector de la Basílica de Sant Jaume de Algemés y al Maestro de Capilla el haber facilitado el acceso al recinto y la colaboración en las medidas.