
ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE LA ANTIGUA CAPILLA DEL COLEGIO MAYOR “LUIS VIVES” DE LA UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

REFERENCIA PACS: 43.55.Fw

Amando García y José V. Garrigues
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Valencia
46100 - Burjassot (España)
Tel/Fax: 34-96-3864754 / 34-96-3983146
email: amando.garcia@uv.es

SUMMARY

A most complete study of the acoustical conditions of the old chapel of “Luis Vives” Residence of the University of Valencia has been carried out in order to analyze the possibilities of its adequation as an multiuse auditorium. The study has basically consisted in the realization of different acoustic measurements (reverberation time, sound field levels, RASTI parameters, etc.) and in a detailed room modelization using the Epidaure software. After completion of the conditioning works, it has been carried out a wide series of acoustic measurements in order to evaluate the acoustical quality of the new auditorium.

INTRODUCCIÓN

A principios del año 1997, la Unidad Técnica de la Universidad de Valencia solicitó la colaboración de nuestro Laboratorio de Acústica para que llevara a cabo un estudio sobre el acondicionamiento acústico de la antigua capilla del Colegio Mayor Luis Vives.

El Colegio Mayor Luis Vives se construyó y entró en funcionamiento en la década de los años cuarenta. Este Colegio Mayor está situado en la Avda. de Blasco Ibáñez de Valencia, en el corazón de uno de los tres Campus universitarios con que cuenta actualmente la Universidad de Valencia. Además de los servicios propios de este tipo de instituciones (habitaciones, comedores, salas comunes y de servicios, etc.), dicho Colegio Mayor disponía de una capilla situada en un edificio singular unido al resto de las dependencias del mismo. Las diferentes edificaciones del Colegio están rodeadas por jardines, con fachadas a dos calles, una de las cuales soporta una elevada densidad de tráfico.

La citada capilla dejó de utilizarse con fines religiosos hace ya algún tiempo. Durante estos últimos años ha albergado la sede central del Servicio de Información de los estudiantes de la Universidad. En la actualidad este edificio no tenía ninguna función concreta y sólo se realizaban en él algunas actividades puntuales de forma muy esporádica (exposiciones, etc.). La Universidad pretendía rehabilitar este recinto con el objetivo de poder celebrar en él actividades culturales de muy diversa naturaleza (conciertos, conferencias, mesas redondas, representaciones teatrales, proyecciones cinematográficas, etc.). Como es natural, estos nuevos usos hacían necesaria la realización de obras de rehabilitación y acondicionamiento de cierta entidad desde el punto de vista arquitectónico y acústico.

En tal sentido, los arquitectos de la citada Unidad Técnica (Antonio Escario y Vicente Tarazona) se pusieron en contacto con los autores de este trabajo para exponerles las líneas



generales del proyecto. Más adelante se celebraron nuevas reuniones con ellos y con el arquitecto responsable de las obras (Carlos Montesinos), con un carácter ya más específico, para recoger y/o suministrar información sobre diferentes aspectos técnicos del proyecto y analizar su incidencia sobre las condiciones acústicas deseables para los fines propuestos. Como aspecto positivo de nuestra contribución, cabe destacar el hecho de que los contactos entre los responsables de la obra y los técnicos acústicos se llevaron a cabo (siempre de forma muy fluida) desde las primeras fases del proyecto y, por lo tanto, nuestras posibilidades de asesoramiento no se vieron dificultadas por situaciones de irreversibilidad que, por desgracia, se suelen producir con cierta frecuencia en este tipo de trabajos.

Durante estos últimos años se han realizado en nuestro país muchos trabajos de rehabilitación de recintos religiosos para destinarlos a usos culturales. En tal sentido, no resultan raros los fracasos funcionales en estos proyectos de rehabilitación arquitectónica, como consecuencia de las deficientes condiciones acústicas que suelen caracterizar a este tipo de recintos. Afortunadamente, en otros muchos casos, los resultados obtenidos han sido excelentes (1) (2).

En la presente comunicación presentamos un resumen de los aspectos más importantes de nuestro estudio. El trabajo se ha desarrollado en tres etapas claramente diferenciadas. La primera fase ha estado centrada en la evaluación experimental de las condiciones acústicas iniciales del recinto en cuestión, tal como se encontraba antes de iniciar las obras de rehabilitación. La segunda fase ha consistido en predecir y analizar el comportamiento del recinto ante una serie de posibles actuaciones de acondicionamiento acústico; esta parte del trabajo se ha llevado a cabo utilizando un software informático especialmente desarrollado con este objeto (Epidaure). En la tercera fase se han llevado a cabo una nueva serie de medidas y observaciones de las condiciones acústicas del recinto estudiado, una vez concluidas las obras de rehabilitación y con todo el mobiliario y complementos previstos, con el fin de comprobar que dichas condiciones son las esperadas y que cumplen los requisitos de calidad necesarios para los fines a los que estará destinado este local.

DESCRIPCIÓN DEL RECINTO ORIGINAL

La Capilla objeto del presente estudio ocupa un edificio de unos 200 m² de superficie unido al resto de las instalaciones del Colegio. De hecho, el acceso principal a la Capilla se realiza a través de una puerta situada frente a la entrada principal al Colegio, a la que se llega tras atravesar un amplio vestíbulo. El edificio de la Capilla es de forma prácticamente rectangular, con una sola planta de 8'8 metros de anchura, 17'6 metros de longitud y 9'1 metros de altura (aproximadamente). En consecuencia, este recinto tenía un volumen de unos 1.400 m³. En la pared del fondo (tras lo que en su día era el altar de la Capilla) existía una pequeña concavidad esférica de unos 4'3 metros de diámetro.

El suelo era totalmente plano. En este sentido, tan sólo cabe destacar la existencia de un pequeño desnivel en la parte del fondo de la Capilla (es decir, donde estaba situado el altar), con una altura de unos 30 cm sobre el nivel del suelo (existían dos pequeños escalones en cada uno de los dos lados), y que se extendía hasta una distancia de 4'6 metros desde la pared del fondo. La pared anterior (puerta principal de acceso) y las paredes laterales muestran una serie de entrantes y salientes debidos a la existencia de un total de dieciséis columnas de sección rectangular. Los salientes de estas columnas tienen 0'6 m de profundidad y 0'5 m de anchura. Sobre las dos paredes laterales existen un total de 12 ventanas alargadas (6 en cada lado), de unos 4'5 m de altura y 0'5 m de anchura, que proporcionan alguna luz natural al recinto. La puerta principal de acceso a la Capilla tiene una anchura de 2 metros. Existen además dos puertas de servicio, con dimensiones mucho más pequeñas (1 metro de anchura), situadas a ambos lados del altar. El techo era plano, con entrantes y salientes de aspecto y dimensiones muy similares a los existentes en las paredes laterales. Como ya hemos indicado anteriormente,



sobre la pared del fondo (altar) existía una bóveda cóncava de unos 2 m de diámetro (decorada con algunas pinturas al fresco con motivos religiosos).

Por lo que respecta a los materiales utilizados en el recinto, cabe señalar ante todo que todo el suelo era de terrazo. Toda la superficie de las paredes laterales estaba revestida de estuco de yeso, salvo los zócalos inferiores que estaban revestidos de mármol hasta una altura de 1'1 m aproximadamente. Las tres puertas anteriormente citadas eran de madera y, por supuesto, las ventanas eran de vidrio (con un pequeño marco de madera). En consecuencia, desde el punto de vista acústico, podemos considerar que en el recinto original tan sólo existían cinco materiales diferentes: terrazo, mármol, estuco, madera y vidrio.

MEDIDAS ACÚSTICAS PRELIMINARES

De acuerdo con el plan anteriormente expuesto, la primera fase de nuestro trabajo se llevó a cabo durante los meses de Mayo y Junio de 1997 y consistió en la realización de varias medidas de las condiciones acústicas del recinto, tal como se encontraba originalmente (con anterioridad a cualquier intervención arquitectónica), con el fin de conocer con el suficiente detalle su calidad acústica. En este sentido, se realizaron dos tipos de medidas diferentes con el fin de determinar el tiempo de reverberación T_R del local y el valor del índice rápido de transmisión de la palabra, conocido generalmente como RASTI (3)(4). Estas medidas se llevaron a cabo en todos los casos con el recinto completamente vacío (salvo la presencia de dos observadores) y con todas las puertas cerradas.

Por lo que respecta a la medida del tiempo de reverberación del local, se utilizaron diferentes instrumentos producidos para dicho fin por la empresa Brüel & Kjaer, concretamente una fuente sonora BK4205, un sonómetro modular de precisión BK2231 y un registrador gráfico de niveles sonoros BK2306. El dispositivo emisor de la fuente sonora (altavoz) se situó en varios puntos de lo que sería el futuro escenario, aproximadamente a una altura de 1 metro sobre el nivel del suelo. Esta fuente sonora emitía ruido filtrado en bandas de octava entre 125 y 8.000 Hertzios, seleccionado en cada caso desde la unidad de control. El receptor (sonómetro conectado al registrador gráfico) estaba montado en un trípode a 1 metro de altura sobre el nivel del suelo. Dicho receptor se situó en varios puntos diferentes del recinto, tanto en los espacios correspondientes al público como en el propio escenario.

A título de ejemplos, mencionaremos solamente que los valores medios del tiempo de reverberación T_R encontrados en todas las medidas realizadas en el recinto para las frecuencias de 250, 1.000 y 4.000 Hz eran del orden de 4'4, 4'6 y 3'0 seg, respectivamente.

La determinación del índice rápido de transmisión de la palabra (RASTI) se llevó a cabo utilizando el equipo diseñado específicamente con este fin por Brüel & Kjaer (BK3361). El correspondiente emisor se situó en el centro del futuro escenario del auditorio, aproximadamente a 1 metro de altura sobre el nivel del suelo. El receptor se situó a esa misma altura en nueve posiciones diferentes del recinto, que correspondían aproximadamente a los dos extremos y al centro de las que, en su momento, serían las filas primera, quinta y décima de las butacas del público, respectivamente. En una décima serie de medidas el receptor se situó sobre el mismo escenario, detrás del emisor (visto desde el público), en un punto situado aproximadamente en el centro geométrico de la bóveda frontal. En cada una de las citadas posiciones se llevaron a cabo tres medidas diferentes (con el fin de asegurar los resultados).

Los resultados encontrados en todas estas medidas no sólo confirmaron el elevado valor del tiempo de reverberación del recinto original (con valores del EDT que, en la mayoría de los casos superaban los 3 segundos), sino que pusieron de manifiesto que los valores del índice RASTI se sitúan siempre entre 0'3 y 0'4, lo que nos permite afirmar que la acústica del recinto que estamos estudiando merece el calificativo de "pobre" (4). En sus condiciones originales, el recinto



que nos ocupa sólo hubiera sido adecuado, a lo sumo, para escuchar un recital de música de órgano, pero nunca para albergar adecuadamente (desde el punto de vista estrictamente acústico) la amplia variedad de actividades culturales que en él se pretendían desarrollar (conciertos, conferencias, proyecciones, etc.).

MODELIZACIÓN DEL RECINTO

El siguiente paso en nuestro trabajo consistió en modelizar el recinto que estamos estudiando. Esta modelización se llevó a cabo utilizando el formato requerido por el método del trazado de rayos que utiliza el programa EPIDAURE (5)(6). Los métodos del trazado de rayos están basados en los principios generales de la acústica geométrica. La forma de proceder en este método es muy sencilla, y se basa en suponer que el sonido es radiado desde una fuente sonora en forma de rayos o partículas sonoras. Cada una de estas partículas es portadora de una parte de la potencia sonora emitida por la fuente. Siguiendo trayectorias rectilíneas, dicha energía se propaga con la velocidad del sonido. Cada vez que un rayo incide sobre una pared u obstáculo del recinto se refleja en él, desviándose hacia una nueva dirección. La correspondiente energía disminuye en función del coeficiente de absorción del material que forma dicha pared u obstáculo. Por medio de ciertos detectores (micrófonos virtuales), los citados rayos pueden ser detectados en cualquier punto de la sala estudiada. Toda la información que transmiten estos detectores puede ser anotada para un posterior análisis: tiempo de impacto, dirección de incidencia, fracción de la potencia de la fuente sonora, etc. Después de trazar todos los rayos y procesar toda la información correspondiente a una determinada simulación, se puede reconstruir la respuesta impulsiva pertinente en el detector considerado.

El proceso de modelización de una sala consiste en definir todas las superficies que están presentes en la misma, cualquiera que sea su forma y dimensiones, especificando las coordenadas de sus respectivos vértices. En nuestro caso, estas coordenadas han sido calculadas a partir de los planos del recinto estudiado, que nos fueron proporcionados por la Unidad Técnica de la Universidad. Dado que cada una de las superficies anteriormente citadas está constituida por un material determinado, es necesario también proporcionar los valores de los correspondientes coeficientes de absorción (7). Finalmente, para completar el proceso de modelización, es preciso especificar también la posición y características de las fuentes sonoras que existirán en el recinto, así como las posiciones de los respectivos receptores.

Una vez realizado el proceso de modelización, ya se está en disposición de lanzar un determinado número de rayos (en número suficientemente alto si se pretende obtener resultados válidos) procedentes de las fuentes sonoras que se quieran tomar en consideración en el proceso y calcular los valores de los diferentes parámetros acústicos que caracterizan esa configuración concreta. En cada uno de los cálculos realizados en el presente trabajo se han lanzado un total de 10.000 rayos, considerando en cada caso un total de 10 reflexiones. Los anteriores valores representan una fórmula de compromiso para la obtención de resultados satisfactorios en un tiempo de cálculo razonable.

Como es natural, nuestro punto de partida en este proceso consistió en modelizar con todo cuidado el recinto de la Capilla tal como se encontraba originalmente (es decir, antes de realizar cualquier tipo de intervención) y ajustar los resultados de los diferentes parámetros acústicos que proporciona el modelo EPIDAURE utilizado con los obtenidos en nuestras medidas preliminares. La fase siguiente del trabajo consistió en proponer una serie de intervenciones en dicha estructura preliminar que mejoraran substancialmente las condiciones acústicas del recinto, hasta conseguir la calidad deseada. Esta nueva fase se llevó a cabo de forma secuencial (es decir, introduciendo las sucesivas propuestas una a una) hasta alcanzar el objetivo final, con el fin de poder conocer por separado los resultados que se conseguían con cada una de las intervenciones propuestas.



No existiendo ninguna información especial en este sentido, en todos los cálculos realizados con el modelo se ha supuesto que sólo existe una fuente sonora, que podría corresponder a la boca de una persona situada en el centro del futuro escenario. Por lo que respecta a los receptores, baste decir que se han considerado un total de 25 receptores regularmente distribuidos por toda la sala (tanto en el futuro escenario como en el espacio reservado al público). En general, dichos receptores se han situado a 1'5 m de altura sobre el nivel del suelo. El número de receptores utilizados en los cálculos es más que suficiente para caracterizar con el suficiente detalle la respuesta acústica de la sala estudiada, de dimensiones relativamente reducidas. Finalmente, por lo que se refiere a las superficies del recinto, se han considerado un total de 340 superficies diferentes. Como ya se ha indicado anteriormente, la forma y el tamaño de estas superficies están definidas por un número adecuado de vértices (en la mayoría de los casos, cuatro).

RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS

Para abreviar esta exposición, reproduciremos únicamente dos ejemplos de los resultados encontrados en todos los cálculos realizados. El primero de ellos se refiere a la situación original de la sala, tal como se encontraba antes de realizar cualquier intervención. Así pues, en este caso, hemos considerado que todas las paredes y el techo del recinto estaban recubiertos de yeso liso, que el suelo del escenario y el espacio destinado al público era de mármol y que no existían butacas. En la siguiente Tabla se hacen constar las seis frecuencias consideradas (entre 125 y 4.000 Hz). Para cada una de dichas frecuencias, el programa utilizado proporciona los valores de un total de once parámetros diferentes: tiempos de reverberación RT correspondientes a una caída de los primeros 10, 20 y 30 dB (en segundos), tiempo de decaimiento temprano (early decay time) EDT (en segundos), índice de definición D50 (%), índice de claridad C80 (en decibelios), tiempo de la señal Ts (en milisegundos), nivel de presión sonora SPL (en decibelios), índice G (en decibelios), índice de transmisión TI (en unidades arbitrarias entre 0 y 1), e índice de transmisión de la palabra STI (en unidades arbitrarias entre 0 y 1), con el significado y en la forma en que dichos parámetros se definen generalmente (3).

Posición del receptor: centro de la sala (aproximadamente, futura fila 6 del público)						
Frec. (Hz)	125	250	500	1.000	2.000	4.000
RT10 (s)	3'12	3'23	3'47	3'85	3'68	2'56
RT20 (s)	2'14	2'23	2'42	2'80	2'89	2'66
RT30 (s)	1'67	1'75	1'89	2'21	2'35	2'28
EDT(s)	4'78	4'67	4'42	3'73	2'68	1'40
D50 (%)	13'4	14'3	16'1	20'3	25'2	30'5
C80 (dB)	-5'26	-4'87	-4'17	-2'71	-1'19	0'35
Ts (ms)	345'0	328'3	298'2	235'9	175'5	124'7
SPL (dB)	63'7	66'3	68'5	69'9	71'4	72'9
G (dB)	-9'35	-9'81	-10'6	12'2	-13'7	-15'2
TI (-)	0'25	0'27	0'29	0'34	0'39	0'45
STI	0'36					

En la siguiente Tabla se presentan los resultados finales de estos cálculos. En este caso, se han considerado todas las modificaciones previstas en el proyecto de rehabilitación



arquitectónica y acondicionamiento acústico: paredes de ladrillo vista (con zócalos de mármol), suelo del escenario de madera pulimentada, suelo del espacio destinado al público recubierto con moqueta de 8 mm de espesor, butacas tapizadas con acolchado de tipo medio, techo recubierto con paneles de lana de roca basáltica con un revestimiento de velo negro en una de sus caras (panel NV-40 de Roclairne) e instalación de una cortina de terciopelo fruncido de unos 60 m² de superficie (al fondo del escenario) y de dos difusores de madera de unos 9 m² de superficie cada uno situados sobre el espacio destinado al escenario.

Posición del receptor: centro de la sala (aproximadamente, futura fila 6 del público)						
Frec. (Hz)	125	250	500	1.000	2.000	4.000
RT10 (s)	1'42	0'59	0'62	0'55	0'62	0'67
RT20 (s)	2'16	0'53	0'49	0'44	0'50	0'53
RT30 (s)	2'09	0'74	0'47	0'38	0'43	0'45
EDT(s)	1'03	0'77	0'69	0'56	0'58	0'56
D50 (%)	49'7	62'5	72'6	79'4	82'0	84'2
C80 (dB)	2'58	5'30	7'43	9'67	9'75	9'92
Ts (ms)	93'8	64'7	56'0	48'4	48'6	48'3
SPL (dB)	57'5	58'8	60'6	63'0	65'5	68'2
G (dB)	-15'5	-17'3	-18'5	-19'1	-19'5	-19'9
TI (-)	0'54	0'64	0'69	0'73	0'74	0'75
STI	0'69					

Como comentario general de los anteriores resultados nos limitaremos a subrayar, ante todo, la notable disminución conseguida en el valor del tiempo de reverberación de la sala. En particular, todos los valores del tiempo de reverberación temprano EDT (incluidos los de las frecuencias más bajas) son ahora inferiores a 1 segundo. Este valor se considera adecuado para los usos previstos en este local (8). Los valores del índice de transmisión de la palabra STI correspondientes a las 16 posiciones de los receptores consideradas en los cálculos (cubriendo todo el espacio destinado al público) varían entre 0'65 y 0'72, con un valor medio de 0'68. Para este valor, el porcentaje de inteligibilidad de frases sería de un 100% y el porcentaje de inteligibilidad de logotomos sin significado se situaría en el 90%, indicando un excelente comportamiento del recinto para actividades basadas en la comunicación verbal.

En esta última fase del trabajo se han realizado también medidas del tiempo de reverberación de la sala (en su estado final). El método experimental ha sido idéntico al utilizado en las medidas preliminares. El emisor se situó siempre en la parte central del futuro escenario. El receptor se situó en diferentes puntos de la sala. En cada caso, se llevaron a cabo diferentes series de medidas para cada una de las siete frecuencias de las bandas de octava consideradas en el trabajo. Los tiempos de reverberación finales de la sala son de orden de 1'0 seg para las frecuencias centrales (de 500 a 2.000 Hz) y algo menores que dicho valor para las frecuencias más elevadas (4.000 y 8.000 Hz).

Se ha llevado a cabo además una amplia serie de medidas del campo sonoro en toda la sala. De los resultados obtenidos en estas medidas se desprenden dos conclusiones importantes. La primera de ellas se refiere al bajo nivel del ruido de fondo de la sala, entre 35 y 45 dBA. En el curso de nuestras medidas, tuvimos ocasión de observar que, en gran parte, este ruido de fondo estaba originado por el funcionamiento del sistema de calefacción/refrigeración de la sala (rejillas situadas bajo los pasillos laterales). Para resolver este problema, recomendamos que, siempre que sea posible, se procure acondicionar térmicamente la sala antes de la iniciación de los correspondientes actos. La segunda conclusión se refiere a que el campo sonoro existente en la sala (con la fuente en el escenario) se mantiene prácticamente constante en toda la zona destinada al público, una cualidad muy importante desde el punto de vista de la calidad acústica



del local. En este sentido, tan sólo cabe destacar la existencia de una ligerísima disminución del nivel sonoro en la zona de la última fila de butacas, posiblemente como consecuencia de que esta zona se encuentra un tanto apantallada por la plataforma de servicios, situada sobre la puerta de entrada al recinto.

Para concluir, sólo cabe indicar que nuestra valoración positiva general de los resultados alcanzados en el acondicionamiento acústico del recinto estudiado (con resultados que se pueden calificar como buenos o incluso excelentes) se ha visto confirmada por la favorable valoración subjetiva del público asistente a los diferentes actos celebrados en el nuevo auditorio durante estos últimos meses (mesas redondas, audiciones de música de cámara, actuaciones de jazz, etc.).

REFERENCIAS

- (1) J. Llinares, A. Llopis y J. Sancho.- "Adecuación de la reverberación de una iglesia para su uso como sala de recitales".- Proceedings Jornadas Nacionales de Acústica (Tecniciacústica 93), pág. 219-222, Valladolid (1993).
- (2) J.J.Sendra, T.Zamarreño, J.Navarro y J.Algaba.- "El problema de las condiciones acústicas en las iglesias: principios y propuestas para la rehabilitación".- Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. E.T.S. de Arquitectura. Universidad de Sevilla (1997).
- (3) L.Cremer y H.A.Müller, H.A.- "Principles and Applications of Room Acoustics".- Applied Science Publishers Ltd. England (1982).
- (4) H.J.M.Steeneken y T.Houtgast.- "Rasti: a tool for evaluating auditoria".- Brüel & Kjaer Technical Review, núm. 3, pág. 13-30 (1985).
- (5) D.Maercke y J.Van Martin.- "The prediction of echograms and impulse responses within the Epidaure software".- Applied Acoustics, vol. 38, pág. 93-114 (1993).
- (6) C.S.T.B.- "Epidaure. Prediction of auditorium acoustics".- User's manual. Version 1.0. 0'1 dB. Villeurbanne. France (1994).
- (7) M.Recuero.- "Ingeniería acústica".- Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos de Telecomunicación.- Universidad Politécnica de Madrid (1991).
- (8) K.B.Ginn.- "Architectural acoustics".- Brüel & Kjaer. Naerum. Denmark (1978).

