



**48º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA**  
**ENCUENTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA**  
**European Symposium on Underwater Acoustics**  
**Applications**  
**European Symposium of Sustainable Building**  
**Acoustics**

## **FUNCIÓN CARACTERÍSTICA DE UNA SALA: UN PRIMER ESTUDIO**

PACS: 43.55.-Ka

Cerdá, Salvador; Segura, Jaume; Planells, Ana; Cibrián, Rosa; Gigante, Jose Antonio;  
Giménez, Alicia  
Grupo de Investigación en Acústica Virtual  
Universitat Politècnica de València-Universitat de València  
E-mail: acusvirt@upv.es

### **ABSTRACT**

The evaluation of acoustic quality is a fundamental factor when determining the need to intervene in a space and the suitability of the same for the intended use. Subjective evaluation in worship spaces is scarce because it is difficult to perform. However, some authors have established models that allow to obtain global indexes of evaluation adapted to churches which synthesize the acoustic behavior for the different sound sources.

In this work, the partial indexes for each parameter in the different audience areas and the synthetic indexes of quality for speech and music have been calculated from the measurements made in different patrimonial environments.

### **RESUMEN**

El tiempo de reverberación se sigue considerando el parámetro principal de una sala. Cuando solo queremos conocer el RT basta limitarnos a medir la IR en varios puntos con un micrófono omnidireccional. El RT no presenta grandes variaciones en una misma sala (alrededor del 3%), por el contrario, las IR cambian en lo referente a su composición energética.

En este trabajo se construye una función característica a partir de la respuesta impulsiva con el objetivo de obtener una nueva imagen que muestre la variación en una misma sala de las IRs.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Durante la última década hemos realizado un extenso trabajo de campo, estudio y análisis en la acústica de salas [1-11]. Esto nos ha servido para concluir que hay tres grandes bloques

estadísticos que determinan los parámetros acústicos objetivos normalmente estudiados [1,3]. Uno que está relacionado con el tiempo de reverberación, otro que está relacionado con la espacialidad y otro que está relacionado con la fuerza de la sala. Además sabemos que la respuesta subjetiva de los asistentes a los conciertos determina otros conjuntos de cualidades subjetivas que en mayor o menor medida correlacionan con los parámetros objetivos [6, 8, 11].

Otro hecho importante que, aunque es bien conocido no se hace notar en la mayoría de los trabajos, es que los parámetros objetivos que se utilizan son las medias correspondientes a diferentes medidas en una sala. Siendo en general esta media no representativa de la sala pues su variación estadística es muy grande [11].

El tiempo de reverberación, a pesar de todos los parámetros estudiados, se sigue considerando el parámetro principal de una sala [1,3]. Para su determinación se mide la respuesta impulsiva mediante procedimientos claramente especificados por la norma. Cuando solo queremos conocer el RT basta limitarnos a medir la IR en varios puntos con un micrófono omnidireccional. Aunque el RT no presenta grandes variaciones en una misma sala (alrededor del 3%), sabemos que las RT presentan importantes variaciones en una misma sala en lo referente a su composición energética (Ts, C50, C80 en mayor o menor medida nos dan cuenta de esas variaciones en IR monoaurales) [1, 3, 11].

En este trabajo se construye una función (Función característica), a partir de la respuesta impulsiva mediante la expresión:

$$f(m) = \text{Log}_{10} \left( \sum_{n=0}^N h^2(n) \cdot \left( \frac{m}{M} \right)^n \right) \quad m \in (0, M] \quad (1)$$

Es decir, la función se construye en un punto dado como un polinomio cuyos coeficientes son los valores de la IR al cuadrado desde donde empieza la IR hasta que acaba. Se valora este polinomio en  $m$  valores (se han considerado 128) que corresponden a una distribución en el intervalo distribuida como. El objetivo es obtener una imagen que muestre la variación en una misma sala de las IRs.

Este trabajo es una primera aproximación al uso de la función característica como herramienta de análisis y caracterización de una sala. Tiene por tanto un carácter más cualitativo que cuantitativo aunque se espera en futuras investigaciones obtener resultados cuantitativos de interés.

## 2. FUNCIÓN CARACTERÍSTICA DE UNA SALA

Se define la Función característica en un punto  $r$  de una sala con respuesta impulsiva  $h_r(n)$  como el polinomio:

$$f_r(t) = \text{Log}_{10} \left( \sum_{n=0}^N h_r^2(n) \cdot t^n \right) \quad t \in (0, 1] \quad (2)$$

Es decir, la función se construye en un punto dado como un polinomio cuyos coeficientes son los valores de la IR al cuadrado desde donde empieza la IR hasta que acaba.

Para su determinación práctica, se valora este polinomio en M valores (se ha considerado M=128) que corresponden a una distribución uniforme en el intervalo.

Al tomar el logaritmo se excluye el  $m = 0$ . Se toma el logaritmo porque en el caso  $t = 1$ , o equivalentemente  $m=M$ , se obtiene

$$f_r(1) = \text{Log}_{10} \left( \sum_{n=0}^N h_r^2(n) \right) \quad (3)$$

que equivale a la energía de la IR expresada en dB.

Obsérvese que en el hipotético caso que tuviéramos dos IR que se diferencia por un factor multiplicativo se tiene la siguiente relación entre las correspondientes funciones características:

$$f_{r_2}(t) = \text{Log}_{10} \lambda^2 + f_{r_1}(t) \quad (4)$$

Es decir, existe un factor constante de diferencia entre ambas. O lo que es lo mismo, una traslación en el eje de ordenadas.

### 3. FUNCIÓN CARACTERÍSTICA DE ALGUNAS SALAS

Las medidas han sido realizadas en diferentes salas, según la norma ISO-3382 [14] y en la IEC 60268 [15], con un equipo compuesto por: un portátil con una tarjeta de sonido profesional (VxPocket v2), dos micrófonos G.R.A.S. Tipo 40 AK y sus correspondientes preamplificadores y alimentación (GRAS Tipo 26AK y GRAS 12AA), una etapa amplificadora M-1000, una fuente dodecaédrica DO12 y el software de captura y análisis de las señales WinMLS [16], se han obtenido las respuestas impulsivas en cada una de las salas consideradas, mediante ensayos con señal sweep sinusoidal logarítmico. Todas las medidas se realizaron con las salas vacías y la fuente situada en el centro del escenario. En cada medida se ha garantizado los niveles exigidos en la norma ISO-3382 que dan validez experimental a las mismas.

A continuación presentamos las funciones características de algunas salas así como sus características acústicas principales:

#### 3.1. CATEDRAL DE VALENCIA

La Catedral de Valencia [12] empezó a construirse en el terreno de la antigua Mezquita Mayor en el 1262 y se proclama como terminada el 1769. Es de estilo gótico aunque en el siglo XVIII sufrió una remodelación de su interior donde se revistió con estilo neoclásico. Actualmente, se ha desmontado gran parte del revestimiento, quedando así elementos de los dos estilos. Su estructura consta de una planta gótica de tres naves, con crucero cubierto con cimborrio, girola y ábside poligonal. En la Tabla 1 pueden verse algunos valores referentes a sus medidas y en la Figura 1 se muestra una fotografía de la nave central con el altar al fondo.

En la Figura 2 se presenta la función característica de esta sala. En trazo negro grueso se muestra la envolvente. La curva superior corresponde a la IR más próxima a la fuente. A medida

que nos alejamos de la fuente la curva toma valores menores. Pero esto no se hace de una manera simétrica, del tipo traslación de la curva superior, sino que se observa que las funciones características se intersecan entre sí. La Catedral de Valencia tiene un volumen y tamaño considerable lo que se aprecia en el área contenida entre la envolvente superior y la envolvente inferior.

Tabla 1. Datos Catedral de Valencia.

Uso	Año	Puntos de medida	V(m <sup>3</sup> )
Misas, Conciertos	1262-1769	41	55924



Figura 1. Interior de la Catedral de Valencia

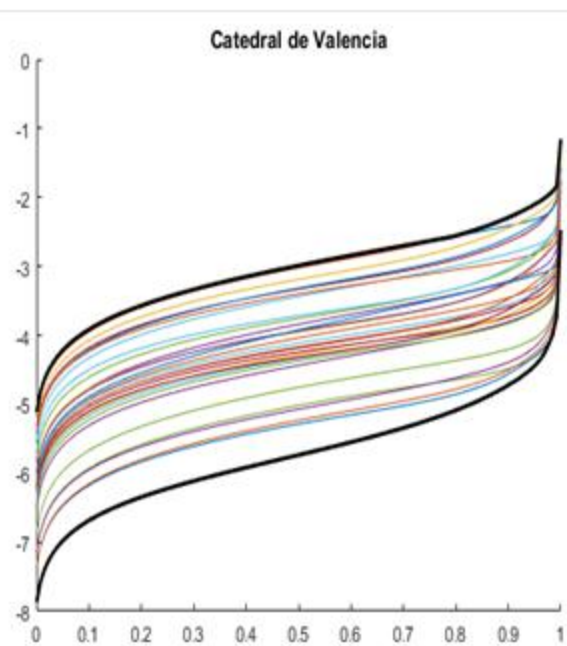


Figura 2. Función característica de la Catedral de Valencia

### 3.2. BASÍLICA DE SANTA MARÍA DE ELX

La basílica tiene planta de cruz latina, con una sola nave cubierta con bóveda de cañón y lunetos (bóveda secundaria en forma de media luna) [13]. A cada lado dispone de cuatro capillas y contrafuertes perforados permitiendo la circulación entre ellas y las comunica a su vez con el transepto y el deambulatorio que envuelve el ábside cubierto por una semicúpula. El crucero se cubre con una gran cúpula con tambor sobre pechinas. La circulación perimetral se repite en la planta superior a través de la tribuna situada sobre las capillas y el deambulatorio en la que se abren balcones al espacio central y los balcones corridos del transepto, en uno de los cuales se sitúa el órgano [13].

Tabla 2. Datos Basílica Santa María de Elche

Uso	Año	Puntos de medida	V(m <sup>3</sup> )
-----	-----	------------------	--------------------

Misas, Conciertos	1672-1784	41	23800
----------------------	-----------	----	-------



Figura 3. Interior de la Basílica

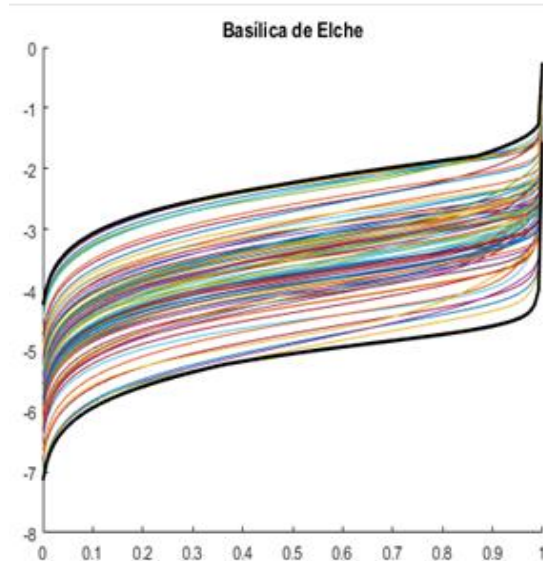


Figura 4. Función característica de la Basílica

Como apreciamos ahora comparando la Figura 4 con la Figura 2, el área es parecida a la de la Catedral de Valencia y las funciones características aparecen distribuidas entre la envolvente de una manera más homogénea debido, entre otros factores, a la distribución con muchos puntos de medida utilizada en el estudio de esta sala [13].

### 3.3. AUDITORIO DE CASTELLÓN

La sala sinfónica del auditorio tiene capacidad para 1300 personas y está formada por dos plateas asimétricas que se abrazan. Los palcos se encuentran en un lateral y el gran escenario dispone de una lengua lateral con capacidad para 100 personas que se vinculan directamente con la escena.

En la siguiente tabla y figura mostramos algunas características acústicas del Auditorio de I Palacio de Congresos de Castellón.

Tabla 3. Datos del Auditorio de Castellón

Uso	Año	Puntos de medida	V(m <sup>3</sup> )
Conferencias, congresos, conciertos de todo tipo, ópera y danza	2004	39	4539

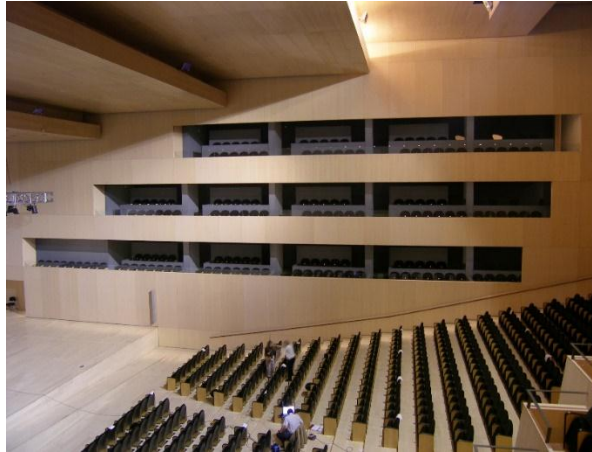


Figura 5. Sala del Auditorio de Castellón.

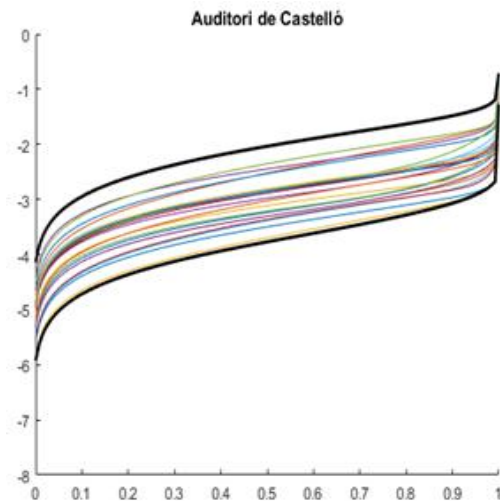


Figura 6. Función característica del Auditorio de Castellón.

En esta ocasión además de ver claramente que el número de medidas es menor que el realizado en la Basílica de Elche, se aprecia que el área comprendida entre las envolventes es inferior a las dos de las imágenes anteriores correspondientes a la Catedral de Valencia y a la Basílica de Elche.

### 3.4. SALA DE ENSAYOS DEL CONSERVATORIO DE VALENCIA

Finalmente incluimos una sala mucho más pequeña y con un tratamiento acústico muy diferente al de las anteriores.

Tabla 4. Datos sala de ensayos del conservatorio

Uso	Año	Puntos de medida	V(m <sup>3</sup> )
Conciertos de orquesta, cámara y coro	1880	12	2536



Figura 7. Sala de ensayos del conservatorio

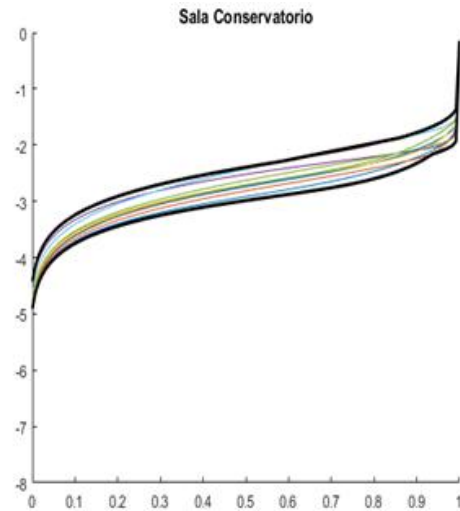


Figura 8. Función característica de la sala de ensayos del conservatorio.

#### 4. CONCLUSIONES

El primer comentario que queremos hacer es la utilidad de la función característica de una sala como herramienta visual de presentación de las IR. Debido a la propiedad (4), las funciones características se distribuyen cubriendo una región comprendida entre la IR más próxima y la más lejana a la fuente. Esto nos muestra a simple vista si la distribución y el número de medidas cubre adecuadamente toda la zona que define la sala. La presencia de huecos o espacios en blanco puede corresponder a una distribución de puntos defectuosa o a un aspecto peculiar de la sala que exige un estudio más detallado de la misma.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía e Innovación con los proyectos con referencias BIA2008-05485, BIA2012-36896 y BIA2016-76957-C3-3-R.

#### REFERENCIAS

- [1] Cerdá, S; Giménez, A; Romero, J; Cibrián, R; Miralles, JL; Room acoustical parameters: A factor analysis approach, Applied Acoustics, 70, 1, 97-109, 2009, Elsevier
- [2] Lacatis, Radu; Giménez, Alicia; Barba Sevillano, Arturo; Cerdá, Salvador; Romero, José; Cibrián, Rosa; Historical and chronological evolution of the concert hall acoustics parameters, Journal of the Acoustical Society of America, 123, 5, 3198, 2008, [New York: Acoustical Society of America]
- [3] Cerdá, S; Giménez, A; Romero, J; Cibrián, R; A factor analysis approach to determining a small number of parameters for characterising halls, Acta Acustica united with Acustica, 97, 3, 441-452, 2011, S. Hirzel Verlag

- [4] Cerdá, Salvador; Giménez, Alicia; Cibrián, Rosa M; ,An objective scheme for ranking halls and obtaining criteria for improvements and design, Journal of the Audio Engineering Society, 60,6,419-430,2012, Audio Engineering Society
- [5] Lacatis, Radu; Montell, Radha; Giménez, Alicia; Barba, Arturo; Cibrián, Rosa; Cerdá, Salvador; Segura, Jaume; Romero, José; , "Coordination between in situ measures, acoustic simulation and virtual environments, key for improvement proposals in audience halls", "Internoise, 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering", 5, 2010,
- [6] Giménez, Alicia; Cibrián, Rosa María; Cerdá, Salvador; Subjective assessment of concert halls: a common vocabulary for music lovers and acousticians, Archives of Acoustics, 37,3,331-340,2012
- [7] Lacatis, Radu; Giménez, Alicia; Cerdá, Salvador; Cibrián, Rosa; Romero, José; Barba Sevillano, Arturo; Establishment a methodology for an objective-subjective acoustic analysis in a multifunctional hall: Paraninfo of the Polytechnic University of Valencia, Journal of the Acoustical Society of America, 123,5,3199,2008,[New York: Acoustical Society of America]
- [8] Giménez, Alicia; Cibrián, Rosa María; Cerdá, Salvador; Girón, Sara; Zamarreño, Teófilo; , Mismatches between objective parameters and measured perception assessment in room acoustics: A holistic approach, Building and Environment, 74,,119-131,2014,Pergamon
- [9] Cerdá, S; Segura, J; Gimenez, A; Cibrian, R; , Concert rooms' quality for classical music, INFORMES DE LA CONSTRUCCION, 65,532,435-442,2013,"INST CIENCIAS CONSTRUCCION EDUARDO TORROJA SERRANO GALVACHE, 4, 28033 MADRID, SPAIN"
- [10] Cerdá, Salvador; Segura, Jaume; Giménez, Alicia; Barba, Arturo; Cibrián, Rosa; , Optimal Volume for Concert Halls Based on And`s Subjective Preference and Barron Revised Theories, Buildings, 4,2,60-68,2014, Multidisciplinary Digital Publishing Institute
- [11] Cerdá, Salvador; Giménez, Alicia; Cibrián, Rosa; Girón, Sara; Zamarreño, Teófilo; , Subjective ranking of concert halls substantiated through orthogonal objective parameters, The Journal of the Acoustical Society of America, 137,2,580-584,2015,ASA
- [12] J. S. Sivera, La Catedral de Valencia, 1909.
- [13] A. Planells; J. Segura; S. Cerdá; A. Barba; R. Cibrián; A. Giménez. Acústica virtual patrimonial. Aplicación a la auralización del Misteri d'Eix Premio Andrés Lara 2015. Revista de Acústica. N. 1 y 2. 2016.
- [14] ISO 3382:1997(E), Second edition 1997-06-15, Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.
- [15] IEC 60268 - Sound system equipment. International Electrotechnical Commission.
- [16] L. Morset. (2004). WinMLS 2004 - User manual.