

Estudio de parámetros de calidad sonora de señal música y habla auralizada en una sala de uso múltiple

REFERENCIA PACS: 43.55.-n, 43.60.-c, 43.66.-x

Segura, Jaume¹; Vera, Lucía¹; Barba, Arturo²; Lakatis, Rađu² Giménez, Alicia²; Fernández, Marcos¹; Cibrián, Rosa³; Cerdá, Salvador⁶, Romero, José⁷

1 Institut de Robòtica, Universitat de València, Poligon de la Coma s/n, jsegura@uv.es, vemalu@uv.es, mfmarin@uv.es

2 E.T.S.I.Industriales., Univ. Politécnica de Valencia, Camí de Vera s/n, arbarse@doctor.upv.es, agimenez@fis.upv.es

3 Facultad de Medicina. Universidad de Valencia, rosa.m.cibrian@uv.es

4 E.T.S.I.Arquitectura, Univ. Politécnica de Valencia, salcerjo@mat.upv.es

5 Escuela Politécnica Superior de Gandía, Universidad Politécnica de Valencia, romerof@fis.upv.es

Resumen

En las últimas décadas, la aplicación de métodos numéricos en acústica arquitectónica ha permitido la predicción de los parámetros de calidad de una sala mediante el estudio de la respuesta al impulso. Por otra parte, la aplicación de técnicas de análisis de señal permite calcular, mediante la emisión anecoica, la señal musical y habla respuesta a partir de la convolución de la respuesta impulsiva de la sala.

En este trabajo se han realizado diferentes auralizaciones binaurales, mediante simulación, en un recinto de uso múltiple y se han estudiado diferentes parámetros de calidad sonora para analizar la respuesta sonora del sonido auralizado en la sala.

Abstract

In the last decades, the application of numerical methods in architectural acoustics has allowed the prediction of quality parameters of a room by means of the study of the impulse response. In other terms, the application of techniques of signal analysis has allowed us to calculate, the response of the music and speech signal by means of the convolution of the impulsive response of the room.

In this work several binaural auralizations have been done by means of simulation in a multiple use room and also several sound quality parameters have been used to analyse the response of the auralized sound in the room.

1. Introducción

La aplicación de técnicas numéricas al diseño acústico de salas de conciertos y de conferencias ha supuesto un ahorro notable en la ejecución de este tipo de proyectos. Entre los métodos más usados para la modelización acústica se encuentran el de trazado de rayos/conos/pirámides, el método de las imágenes o técnicas combinadas, aunque también se suele usar el método de los elementos de contorno (BEM) para la evaluación de elementos

radiantes, el método de los elementos finitos (FEM), diferencias finitas en dominio del tiempo (FDTD), etc. [1][2]. Las técnicas numéricas híbridas que aplican trazado de rayos con esquemas de fuentes imagen permiten una mejora notable en los tiempos de cálculo en los modelos predictivos, ya que permiten una mayor eficiencia global en los cálculos donde alguna de las dos técnicas no es tan eficiente, es decir que las deficiencias de una, las suple la otra. [3]

Diversos autores, entre ellos M. Kleiner, han definido la auralización como el proceso de renderización audible, física o matemáticamente, del campo sonoro de una fuente en un espacio de manera que se simula la experiencia de audición binaural en una posición dada en el espacio modelado [3]. Por otra parte, la aplicación de técnicas de procesamiento binaural a los algoritmos de modelización y predicción en acústica de salas ha motivado que la mayoría de programas de simulación acústica tengan un módulo de auralización que funciona a través de diversos medios, como una tarjeta de sonido o por medio de convolucionadores de audio.

Mediante la auralización de la señal se crea una señal binaural que contiene información espacial del entorno en el que se ubica a partir de una señal monoaural anecoica. Para conseguir unas buenas auralizaciones, es necesario generar unas representaciones binaurales debido a que el oído humano extrae información sobre el evento sonoro y su entorno mediante la separación de las colas espectrales temporales y espaciales comunes [4].

Este estudio ha tenido en cuenta la aplicación de las técnicas numéricas de cálculo de parámetros y de convolución para la determinación de las auralizaciones en una sala de uso múltiple para fuentes música y habla. El recinto de aplicación es el Paraninfo de la Universitat Politècnica de València, una sala construida en 1978 por la Unidad Técnica de Arquitectura de la UPV.

La sala tiene una capacidad de 385 espectadores distribuidos en el patio de butacas. Además, esta sala tiene unas dimensiones de 6,10 m de altura, 20 m de anchura y 25 m de longitud. A partir de ellas, el cálculo del volumen da como resultado unos 3000 m³, lo cual permite un volumen de ocupación de unos 7,8 m³/asiento.

2. Predicción de parámetros acústicos

El proceso de modelado acústico ha tenido en cuenta las absorciones de las superficies que se presentan en la tabla 1 y hay 330 superficies. La figura 1 muestra una imagen de su configuración, con la ubicación de la fuente que se situó en el punto (0,2.3,2.3) m y los puntos receptores se ubican en el patio de butacas numerados como muestra la figura 1.

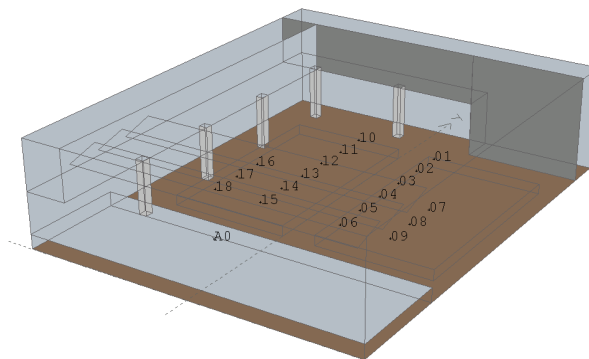


Figura 1: Distribución de receptores

A partir de este modelo geométrico se determinan los resultados de los parámetros característicos de la sala, que son:

	125	250	500	1000	2000	4000
T-30 [s]	1,19	1,18	1,22	1,16	1,10	0,98
EDT [s]	1,04	0,98	0,98	0,90	0,86	0,77
Ts [ms]	72,5	69,9	70,7	65,4	62,5	56,3
C50 [dB]	0,4	0,7	0,6	1,0	1,2	2,0
C80 [dB]	3,3	3,5	3,5	4,2	4,4	5,3
G [dB]	10,6	10,4	10,5	10,0	9,5	9,3

3. Cálculo de auralizaciones de música y habla

En la fase de cálculo predictivo se han generado los ficheros de salida para el postprocesado de la sala. Estos ficheros permiten generar la respuesta puntual impulsiva que permite calcular las auralizaciones mediante la convolución de ésta con la señal anecoica.

Se puede seleccionar el tipo de receptor entre: omnidireccional, binaural, monoaural (seleccionando el diagrama de radiación del micrófono receptor), estéreo (ídem que el anterior), formato ambisonic o B y 5 canales, pudiendo seleccionarse la directividad de cada uno de los canales.

En nuestro caso hemos optado por el receptor que da una respuesta binaural seleccionando un muestreo de 44'1 kHz, además se ha seleccionado una librería estándar de filtros HRTF. Por otra parte, se ha seleccionado como auriculares para el cálculo de la respuesta binaural unos AKG Acoustics K500. Con estos parámetros se han calculado los ficheros de respuesta impulsiva binaural (BRIR) (ver figura 2) para cada uno de los receptores de la sala.

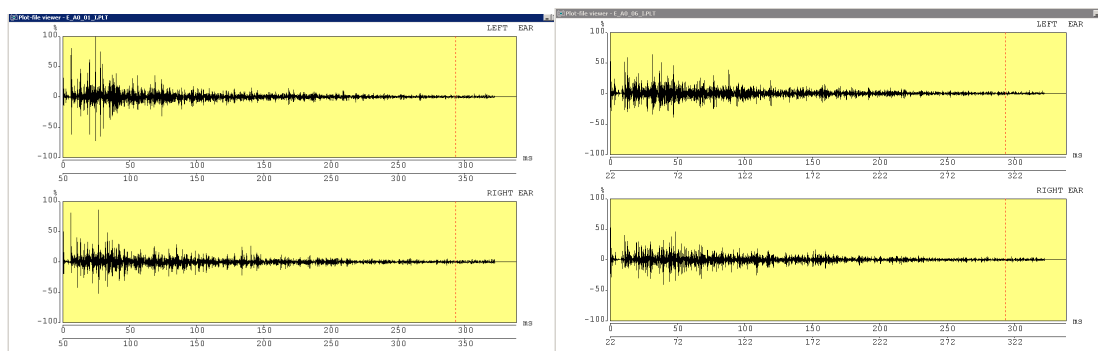


Figura 2: Respuesta impulsiva binaural de la sala (BRIR) para los receptores 15 y 12 (fig 1)

El cálculo de la convolución de la IR de la sala con la señal anecoica permitió la realización de las auralizaciones. Como señal anecoica música se ha seleccionado un pasaje de órgano con tres secciones de escala ascendentes y como señal anecoica habla se seleccionó un fichero con tres frases. Estas auralizaciones fueron calculadas en los emplazamientos que se muestran numerados en la figura 1 localizados en el patio de butacas.

Mediante este procedimiento se han obtenido las 12 auralizaciones correspondientes a cada uno de los 12 emplazamientos donde se hayan ubicados los correspondientes observadores, tanto para fuente música como fuente palabra.

4. Cálculo de parámetros psicoacústicos de habla y música

Mediante la evaluación de la distribución espacio-temporal de la respuesta de la sala se han seleccionado los siguientes parámetros psicoacústicos en este análisis: loudness, roughness, sharpness y tonalidad.

4.1. Loudness

“Intensidad Sonora, Fuerza, volumen”, en sonios. ISO 532B (ISO 1966). Es la magnitud más básica, describe generalmente mejor el nivel de sonido percibido que el nivel de presión sonora. El nivel de intensidad sonora en dBA se utiliza como pauta en todos los reglamentos, sin embargo la intensidad psicoacústica de este parámetro o Loudness es una medida más conveniente para evaluar la opinión real de la intensidad, ella se adapta mejor a la audición humana (e.g. considerando el enmascaramiento). Su expresión global viene dada por:

$$N = \int_0^{24 \text{ Bark}} N' dz, \text{ donde } N' \text{ es el loudness específico en sone/Bark y } z \text{ es la banda crítica. [3]}$$

4.2. Sharpness

Este parámetro se puede traducir como “nitidez o agudeza”, y se mide en acum. Sharpness representa un atributo para la evaluación del timbre. Se define en función de la sensación de placer o de desagrado de un sonido referido a toda la envolvente del espectro. Se determina por medio del centroide de la distribución espacial en el espectro de Zwicker [3]. Cuanto mayor es la parte de alta frecuencia dentro de un ruido mayor es la impresión de la agudeza del sonido. La agudeza es el parámetro psicoacústico más importante debido a su considerable influencia en el desagrado de determinados sonidos.

4.3. Roughness

El parámetro tiene relación con la “aspereza o rugosidad” de una señal y se mide en asper [3]. En un ruido de banda ancha una modulación con dos tonos cuya diferencia se mantenga entre 13 Hz y 300 Hz, la sensación de la magnitud de la fluctuación da la impresión de la aspereza.

La impresión de la aspereza maximiza en una frecuencia de modulación de cerca de 70 Hz. Un carácter áspero de un sonido causa generalmente una impresión desagradable de la audición. Si la diferencia de la frecuencia de los dos tonos se excede 300 hertzios se consigue gradualmente la impresión de dos tonos distintos.

4.4. Tonalidad

La tonalidad de un ruido significa que un sonido contiene uno o más componentes prominentes tonales. Los sonidos tonales intensifican generalmente la impresión desagradable de un sonido. Por esta razón en pautas y regulaciones estos sonidos conllevan una penalización de 3 hasta 6 dBA. En los ruidos de trenes usualmente no aparecen tonalidades [3].

5. Resultados y discusión

El cálculo de las auralizaciones mediante el programa de simulación de salas CATT Acoustics® ha permitido la obtención de un conjunto de ficheros de audio como resultado de la convolución de la IR con la propia señal anecoica música y habla respectivamente. Por otra parte, se ha utilizado el software de análisis Artemis de Head Acoustics® para el cálculo de los parámetros psicoacústicos descritos en el apartado 4 a partir de los ficheros obtenidos anteriormente.

Se observa que las representaciones temporales de los parámetros de cada uno de los parámetros considerados para el habla (ver figura 3), vemos un perfil con muy poca dispersión espacial en cada canal.

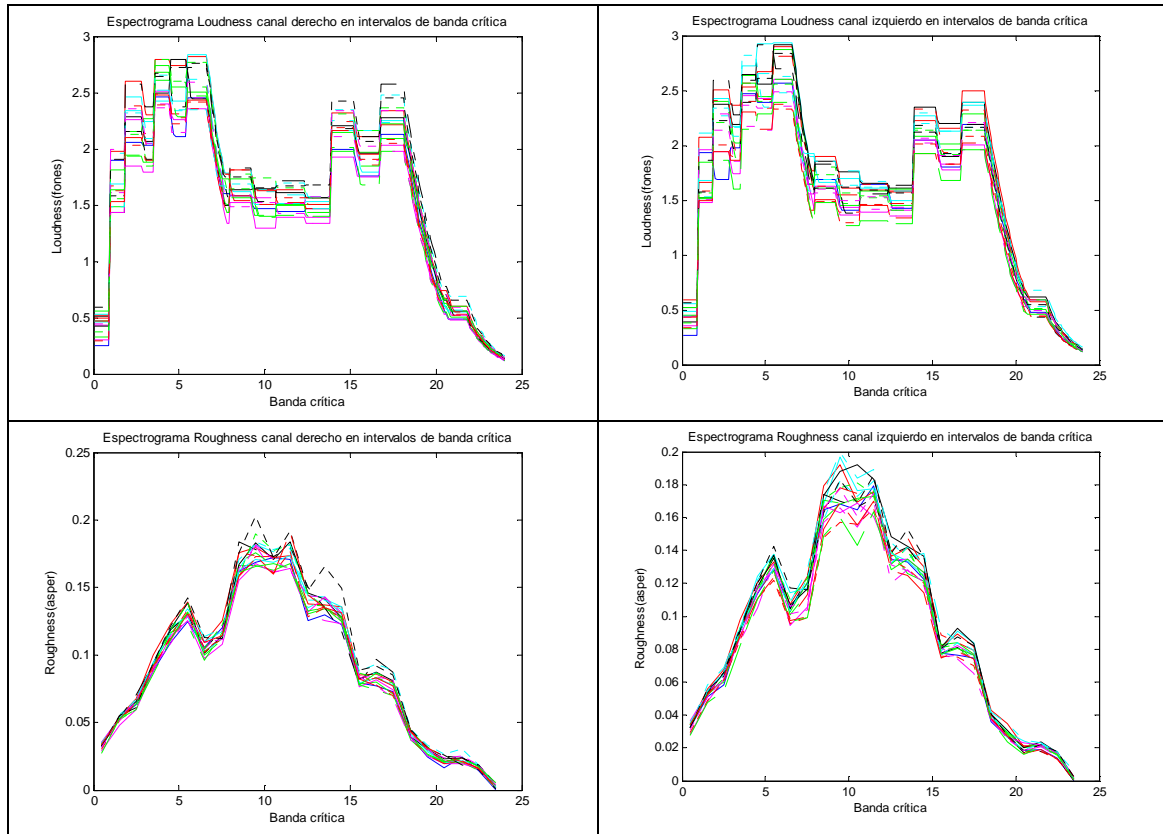
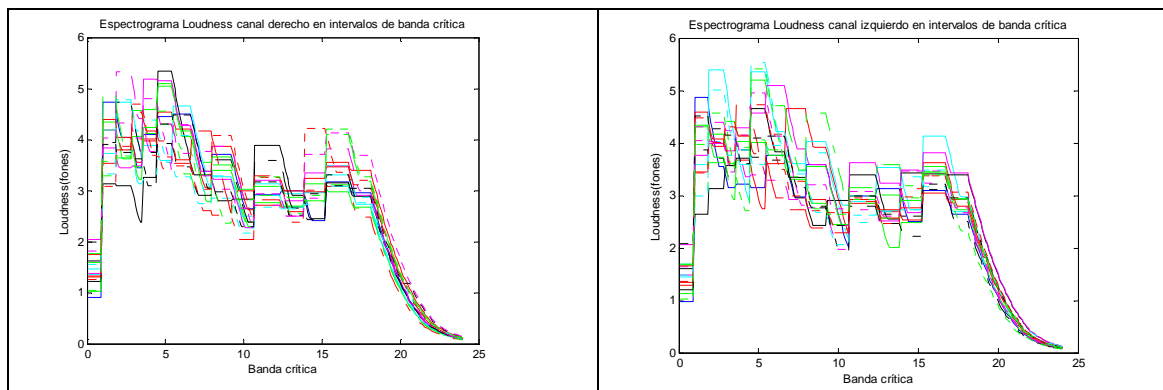


Figura 3: Representaciones de Loudness y Roughness para la fuente habla



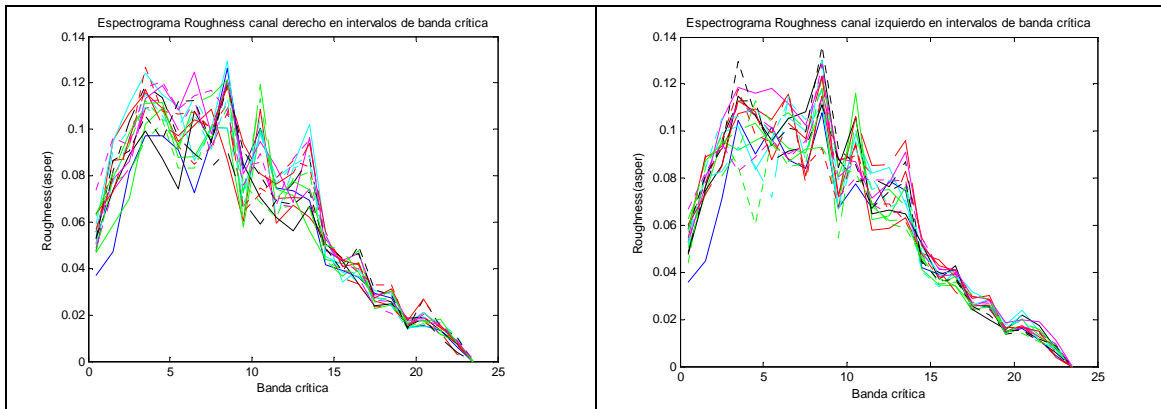


Figura 4: Representaciones de Loudness y Roughness para la fuente música

Esto no es igual para la fuente música que presenta mayor variación que en el caso de la fuente habla. Comparando con el caso de una sala de volumen mayor, como es la Basílica de Sant Jaume [7], se podría decir que en el caso de una sala pequeña, la distribución espacial de parámetros psicoacústicos tiene mayor variación que en el primer caso. La figura 4 muestra resultados de los observadores.

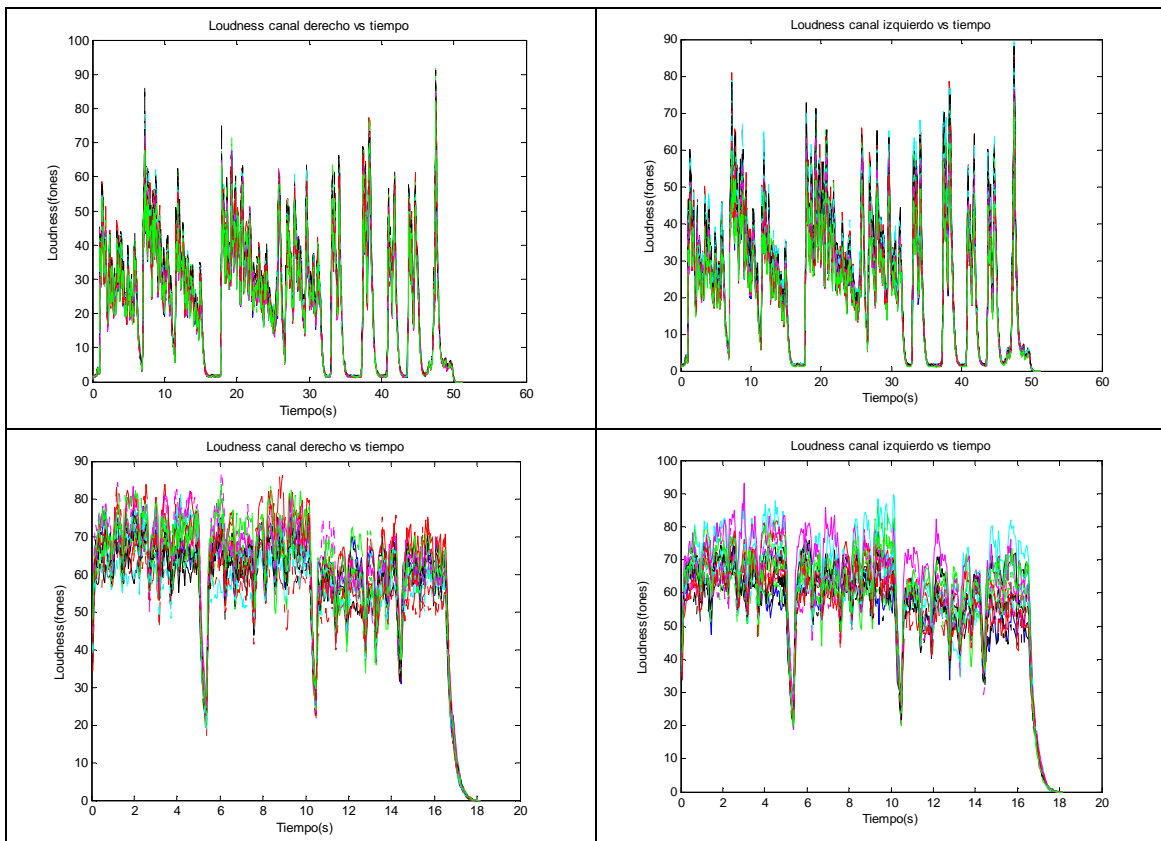


Figura 5: Comparación de Loudness vs tiempo para la fuente habla y la fuente música

En la figura 5, se representa el loudness respecto al tiempo de señal para cada uno de los receptores. En ella se observa una mayor variación espacial para la fuente música que en el caso del loudness.

6. Conclusiones

En este estudio, se ha realizado el cálculo de los parámetros acústicos característicos del Paraninfo de la Universitat Politècnica de València y de las respuestas impulsivas y la auralización para diferentes receptores a partir del modelo geométrico. Estas auralizaciones han sido guardadas en ficheros de audio.

El procesado de estos ficheros ha permitido el cálculo de cuatro parámetros psicoacústicos que se han considerado para caracterizar y evaluar la sala. Para ello, y dado el uso de la sala, se han utilizado dos tipos de fuente: habla y música. El cálculo de las auralizaciones permite describir la señal en cada emplazamiento receptor seleccionado.

La determinación de los parámetros psicoacústicos descritos a permitido comprobar la constancia de ellos para la fuente palabra a lo largo de la sala, tanto en tiempo como en frecuencia. Por otra parte, en el caso de la fuente música, la variación de los parámetros ha sido mayor, probablemente debido al volumen de la sala comparándola con otras mayores [7].

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología mediante el proyecto de investigación BIA2008-05485.

8. Bibliografía

- [1] Rindel JH. "Modelling in auditorium acoustics- from ripple tank and scale models to computer simulations". Nº Especial de la Revista de Acústica (CD-Rom), 32 keynote lecture, Forum Acusticum Sevilla 2002
- [2] Rindel JH. The use of computer modeling in room acoustics. J Vibroeng, Vol. 3(4), 2000.
- [3] Mendel Kleiner & al; "Auralization: An overview". Journal AES, Vol.41, No.11 (1993), pp 861-875.
- [4] Michael Vorländer; "Auralization in acoustics". ACOUSTICS High Tatras 06 - 33rd International Acoustical Conference - EAA Symposium. Patria Hotel, Štrbské Pleso, Slovakia, October 4th - 6th, 2006
- [5] Zwicker y Fastl (1999). Psychoacoustics: Facts and models. Springer Series in Information Sciences, 22. Springer, Berlin; New York, 2nd updated edition.
- [6] Harrison JM, Thompson-Allen N.; "Constancy of loudness of pipe organ sounds at different locations in an auditorium". J Acoust Soc Am. 2000 Jul;108(1), pp 389-399
- [7] Segura & al; "Análisis de auralizaciones del nuevo órgano de la Basílica de San Jaume de Algesí (Valencia)". Cádiz 23-25 de setiembre, TecniAcústica 2009.