

ANÁLISIS DE RESPUESTAS IMPULSIVAS EN SALAS DE AUDICIÓN

PACS: 43.58.Ta. 43.60.Dh

Jaume Segura⁽¹⁾, Salva Cerdá⁽⁴⁾, Radha Montell⁽²⁾, Radu Lacatis⁽²⁾, Arturo Barba⁽²⁾, Ana M^a Planells⁽²⁾, Alicia Giménez⁽²⁾, José Romero⁽⁵⁾, Rosa M^a Cibrián⁽³⁾, Lucía Vera⁽¹⁾, Marcos Fernández⁽¹⁾

1 Institut de Robòtica, Universitat de Valencia, C/Catedrático Dr José Beltrán 2,

E-mail: iaume.segura@uv.es

2 E.T.S.I.Industriales., Univ. Politécnica de Valencia, Camí de Vera s/n,

E-mail: aqimenez@fis.uDv.es

3 Facultad de Medicina. Universidad de Valencia, E-mail: rosa.m.cibrian@uv.es

4 E.T.S.I.Arquitectura, Univ. Politécnica de Valencia, E-mail: alcerio@mat.uDv.es

5 Escuela Politécnica Superior de Gandía, Universidad Politécnica de Valencia,

E-mail: romerof@fis.uDv.es

ABSTRACT

The assessment or the design of the acoustical quality in a room is made taking into account some well-known criteria, according to the use of the room. According to the exigencies of the designer or evaluator, they use average values in the parameters or even confidence ranges. They usually analyze a large number of parameters and apply some criteria over one or more of them. However, even the accomplishment of these criteria over average values of the parameters does not warranty a good audition in a specific location of the room.

Through the analysis of the impulse responses in the room, the measured as well as the simulated on, we can really predict how is going to be the audition in the room and to assess the subjective response by means of auralization. In this work, we have analyzed the IRs in three rooms: the Acts Room in the ETSII at UPV, the Paraninf at the Polytecnic University of Valencia and the Municipal Auditorium in Ribarroja (Valencia). The comparison of the signals allows determining the agreement range between IR measured and simulated.

RESUMEN

A la hora de evaluar la calidad acústica de una sala, o de diseñarla, se utilizan unos criterios bien conocidos según sea su uso. Según la exigencia del diseñador o del evaluador, se recurre a valores medios de los parámetros o a intervalos de confianza. Normalmente se analizan un gran número de parámetros y se aplica algún criterio sobre uno o varios de los mismos. Sin embargo, el hecho de que se cumplan esos requisitos sobre valores medios, no garantiza que en un punto determinado de la sala la audición sea adecuada.

Mediante el análisis de las respuestas impulsivas de la sala, tanto real como simulada, podemos predecir cómo va a ser la audición en la sala a nivel real y evaluar la respuesta subjetiva mediante auralización. En este trabajo hemos analizado las IRs en tres salas: el salón de Actos de la ETSII de la UPV, el Paraninfo de la Universitat Politecnica de Valencia y el auditorio municipal de Ribarroja. La comparación de las señales permite determinar el grado de acuerdo entre las medidas y las simulaciones.

1. INTRODUCCIÓN

La forma en que una fuente sonora emite su energía en el interior de una sala puede ser descrita principalmente mediante la respuesta impulsiva (IR) de la fuente en dicho auditorio. Ésta es una característica específica de cada emplazamiento y determina la mayoría de los parámetros acústicos característicos de la sala que describen el funcionamiento acústico de ésta.

Como hemos dicho, esta respuesta depende de la localización del punto de medida o

simulación dentro de la sala, por lo tanto es diferente dependiendo de la posición relativa de cada par fuente-receptor. Esta dependencia se refleja en la distancia a la fuente, en las reflexiones que llegan al receptor, además de en la orientación del receptor con respecto a la fuente.

La medida o simulación de la respuesta impulsiva binaural de la sala (BRIR) nos permite obtener información aproximada sobre la percepción relacionada con las colas de un receptor en cualquier punto de la sala. Esta condición binaural se obtienen usando funciones HRTF en el proceso de medida o simulación.

Para la medida de esta respuesta se pueden utilizar diversas técnicas como: MLS (*Maximum Length Sequence*) o IRS (*Inverse Repeated Sequence*), basadas en la excitación del espacio acústico por señales pseudo-aleatorias cuya propiedad estocástica común es el uso de ruido blanco, por otro lado las técnicas de *sweep* sinusoidal que usan un barrido exponencial en frecuencia como excitación. En este último caso obtenemos una señal sin distorsión armónica en la deconvolución de la respuesta impulsiva, ya que es posible deconvolucionar simultáneamente la respuesta impulsiva lineal y separar selectivamente cada respuesta impulsiva correspondiente a los órdenes de distorsión armónica considerados [1]. Así se puede obtener la IR de la sala convolucionando la salida medida en la sala con la señal de entrada invertida en el dominio de la frecuencia. Finalmente, se observa que la IR resultante es combinación de $h(t)$ debido a las primeras reflexiones en la sala y la cola debido a las reflexiones tardías.

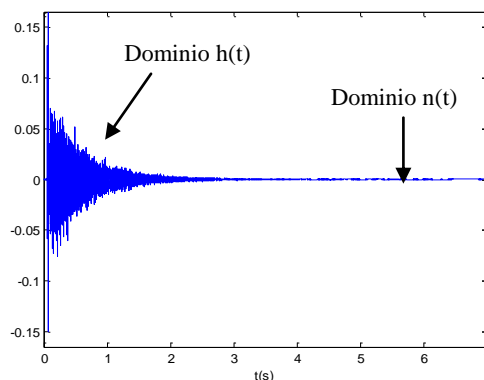


Figura 1: Dominios de la IR

En este artículo realizaremos la comparación entre diversas señales medidas y simuladas en tres salas de audición. También estudiaremos las auralizaciones obtenidas a partir de estas señales.

2. METODOLOGÍA

La comparación de señales permite determinar la bondad de una simulación o de una medida. Para hacerlo, hemos registrado señales binaurales medidas con una cabeza de HeadAcoustics (HeadAcoustics Measurement System – HMS IVTM) en cada una de las salas establecidas. Este sistema permite el registro de la señal sinusoidal emitida mediante una fuente isotrópica (emisor dodecaédrico). El software usado para controlar y procesar esta emisión es WinMLSTM [5].

Por otra parte, hemos realizado la simulación de estos entornos mediante métodos híbridos de trazado de conos y fuentes imagen (con el paquete de simulación CATT Acoustics [6]). El post-procesado de los resultados nos permite obtener la BRIR por medio del filtrado de la RIR mediante las funciones de transferencia relacionadas con la cabeza (HRTFs). Para que la señal simulada y la medida sean comparables, es necesario realizar un preprocesado, eliminando la señal excitadora de la IR medida y ajustando el dominio de las reflexiones tardías, $n(t)$ en la figura 1.

El análisis de las BRIR se ha realizado mediante la estimación paramétrica de la densidad de potencia espectral. Esta estimación se hace para tener conocimiento de la autocorrelación de cada señal y una predicción de la distribución de potencia de cada señal.

Para poder comparar las respuestas impulsivas simuladas y medidas en las diferentes salas, se ha realizado un pequeño preprocesado de las señales antes de analizarlas. Éste ha consistido en eliminar el retardo de las señales medidas. Como prueba para la comparación se ha realizado la estimación de la densidad de potencia espectral de las señales binaurales mediante el algoritmo de Yule-Walker [2]. Como hemos dicho anteriormente, este procedimiento permite establecer una estimación paramétrica del espectro de densidad de potencia de cada señal mediante la especificación del orden del modelo predictivo auto-regresivo (AR), que en este caso se ha establecido en 12.

A partir de los primeros resultados se ha observado lo que otros autores concluyeron sobre los métodos de simulación basados en algoritmos de trazado de rayos [6][3], que éstos resultan pobres en el dominio de las primeras reflexiones en la respuesta impulsiva, lo cual indica que a altas frecuencias se produce una diferencia notable comparado con la BRIR medida. Para evitar esto, un procedimiento aceptado es combinar métodos de trazado de rayos y fuentes imagen con métodos de onda completa (FDTD o FEM/BEM) para determinar correctamente la respuesta impulsiva simulada. Es decir, que combinando las primeras reflexiones del método de onda completa con la de trazado de rayos se puede llegar a un resultado adecuado. Otro procedimiento, y será el que sigamos en este artículo, es el de realizar un filtrado FFT adaptado de la señal simulada, lo cual nos permitirá obtener una señal BRIR simulada suficientemente ajustada a la señal BRIR medida.

Existen algoritmos de filtrado adaptativo que son perfectamente aplicables en este caso, pero en nuestro caso ha sido suficiente con aplicar este filtro a cada una de las BRIRs simuladas. La figura 2 muestra la forma de este filtro adaptado para el caso del Paraninfo.

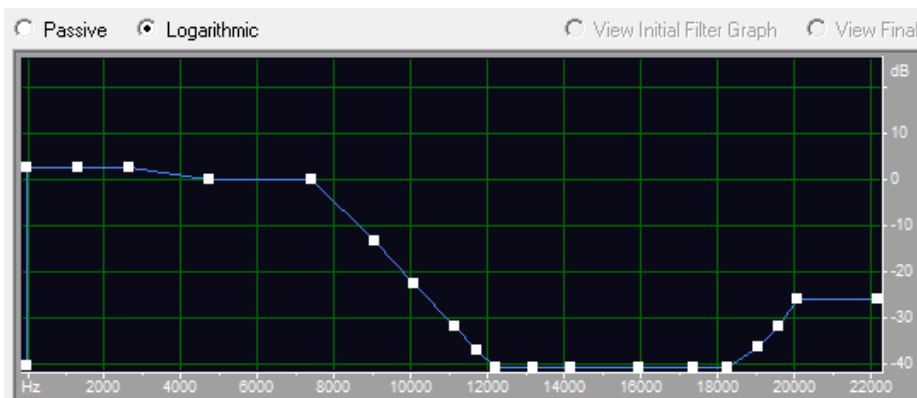


Figura 2: Forma del filtro adaptado

Este estudio se ha realizado en tres salas de audición, de tamaño creciente: el salón de actos de la ETSII de la UPV, el Paraninfo de la UPV y el auditorio de Ribarroja.

3. LAS SALAS

3.1. Sala de pequeño tamaño: Salón de actos de la ETSII de la Universitat Politècnica de València.

Esta es una sala de uso múltiple con un volumen de unos 500 m³ y con capacidad para unas 160 personas. En la figura 3 se muestra el modelo geométrico utilizado con la ubicación de los diferentes receptores, tanto en medida como en simulación.

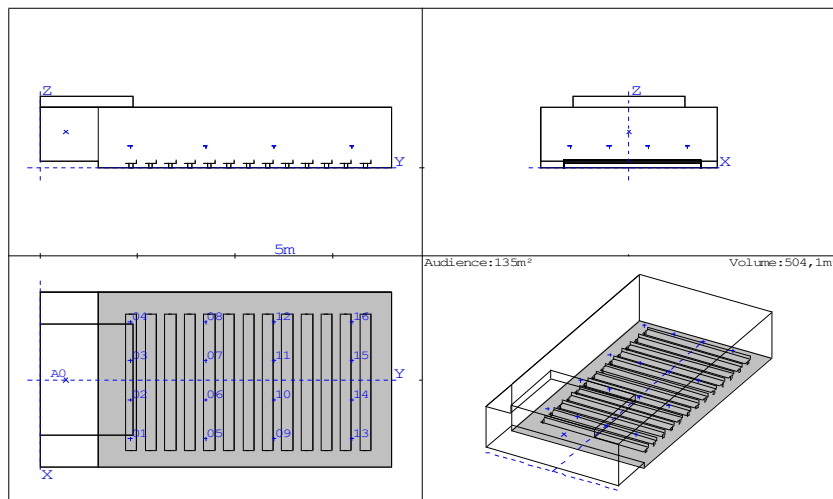


Figura 3: Modelo geométrico del salón de actos de la ETSII

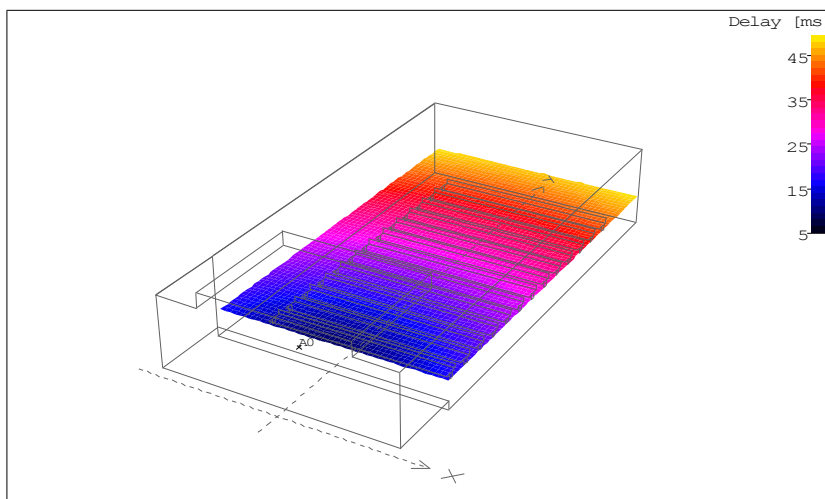


Figura 4: Mapa de retardos del salón de actos de la ETSII

La figura 4 muestra el retardo de la señal emitida en llegar a cada punto de la audiencia. En este caso se ve una variación entre 15 y 45 ms para las diferentes posiciones consideradas en la superficie de audiencia.

3.2. Sala de tamaño medio: Paraninfo de la Universitat Politècnica de València.

El Paraninfo de la UPV es también una sala de uso múltiple con un volumen de unos 2500 m³ y con capacidad para unas 300 personas. En la figura 5 se muestra el modelo geométrico utilizado con la ubicación de los diferentes receptores, tanto en medida como en simulación.

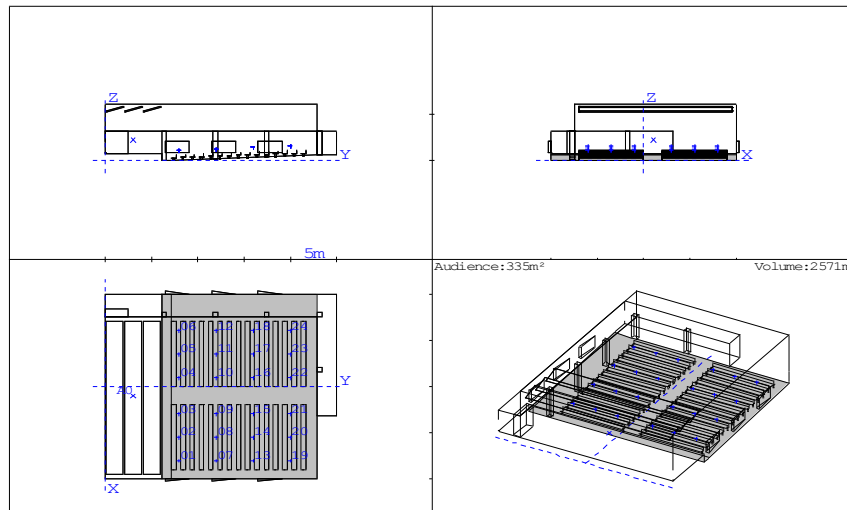


Figura 5: Modelo geométrico del Paraninfo

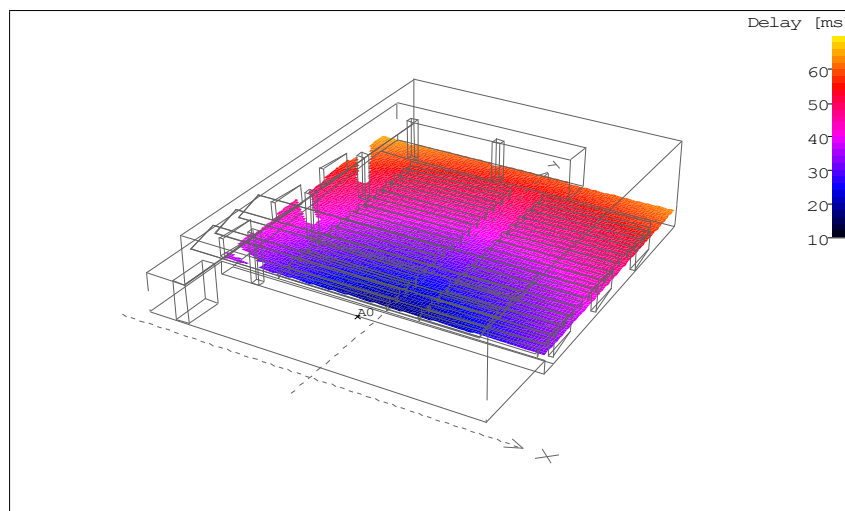


Figura 6: Mapa de retardos del Paraninfo de la UPV

La figura 6 muestra el retardo de la señal emitida en llegar a cada punto de la audiencia. En este caso se ve una variación entre 25 y 50 ms para las diferentes posiciones consideradas en la superficie de audiencia.

3.3. Sala de gran tamaño: Auditorio Municipal de Ribarroja.

El Auditorio Municipal de Ribarroja es una sala de conciertos principalmente, aunque su uso es también diverso con un volumen de unos 11700 m³ y con capacidad para unas 800 personas. En la figura 7 se muestra el modelo geométrico utilizado con la ubicación de los diferentes receptores, tanto en medida como en simulación.

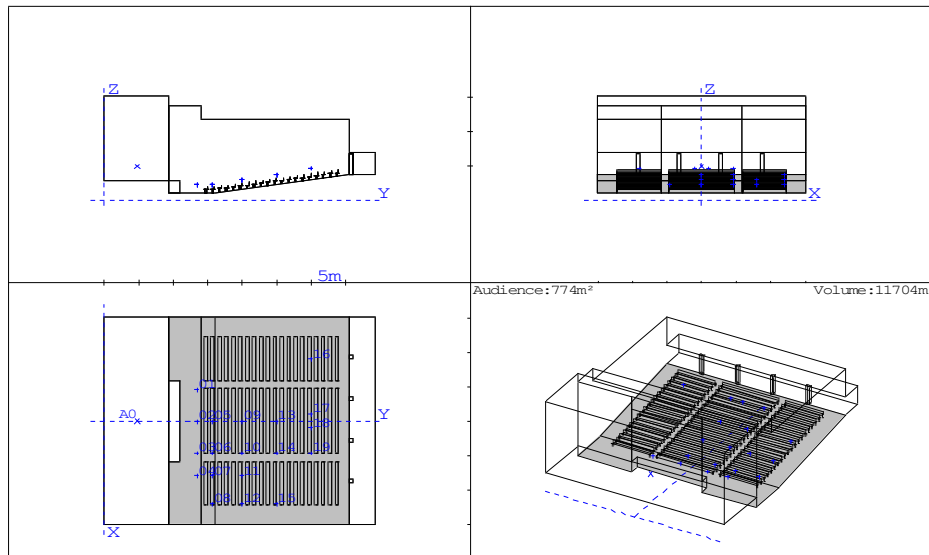


Figura 7: Modelo geométrico del Auditorio Municipal de Ribarroja

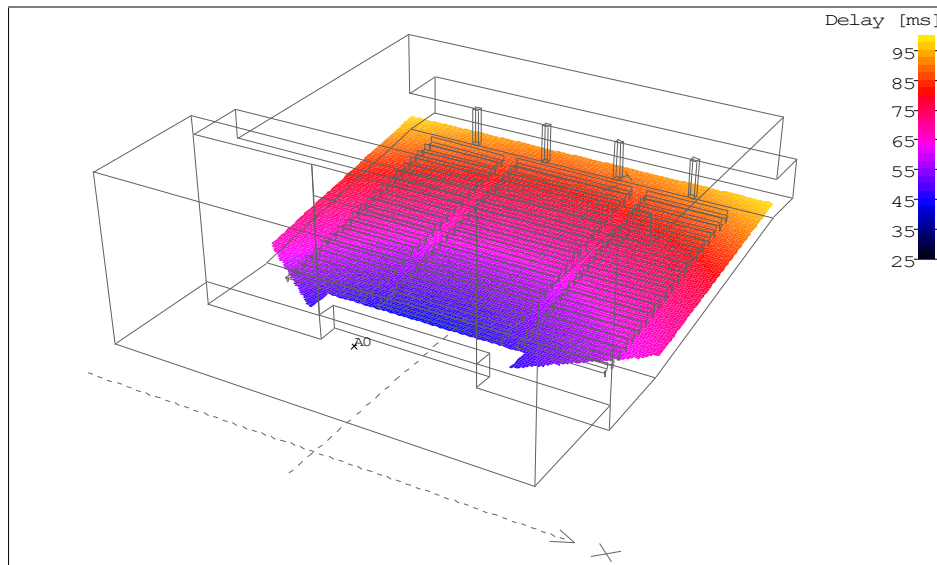


Figura 8: Mapa de retardos del Auditorio de Ribarroja

La figura 8 muestra el retardo de la señal emitida en llegar a cada punto de la audiencia. En este caso se ve una variación entre 45 y 90 ms para las diferentes posiciones consideradas en la superficie de audiencia.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras 9, 10 y 11 se pueden observar las representaciones del espectro de densidad de potencia de las respuestas medidas y simuladas sin y con filtrado adaptado para cada una de las tres salas consideradas.

Salón de Actos

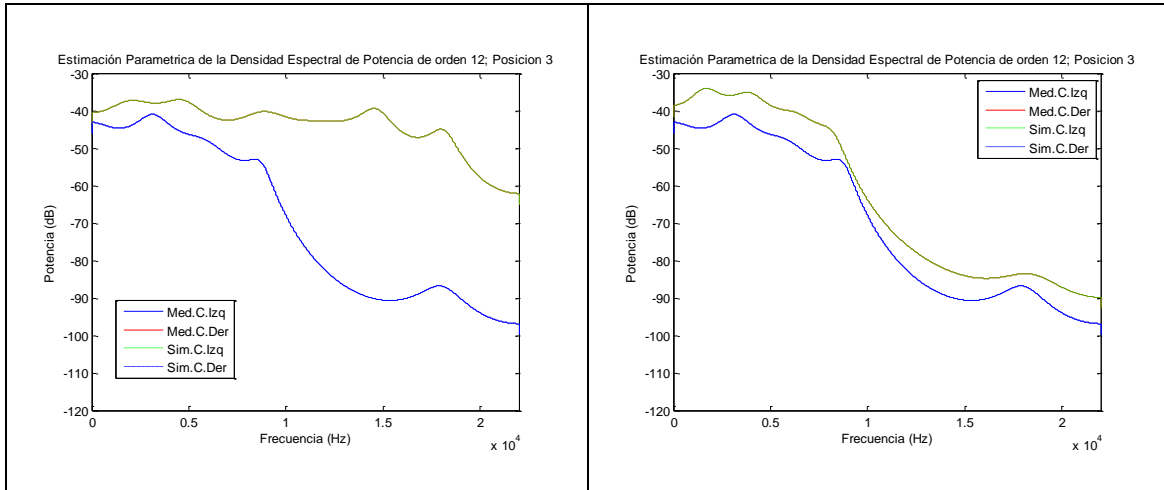


Figura 9: Estimación de la DEP en la pos. 3 del salón de actos: (a) sin filtrado y (b) con filtrado

Paraninfo

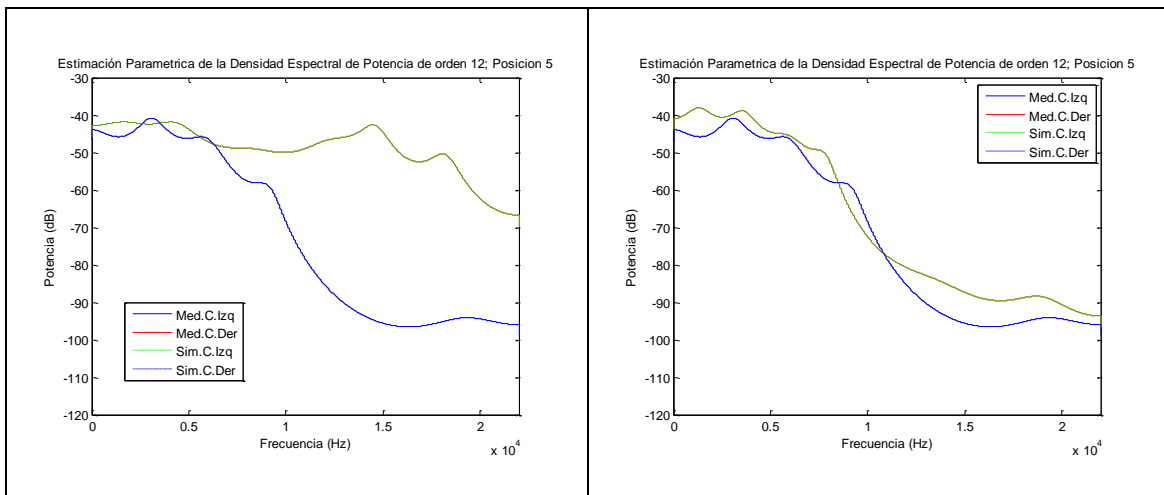


Figura 10: Estimación de la DEP en la pos. 5 del Paraninfo: (a) sin filtrado y (b) con filtrado

Ribarroja

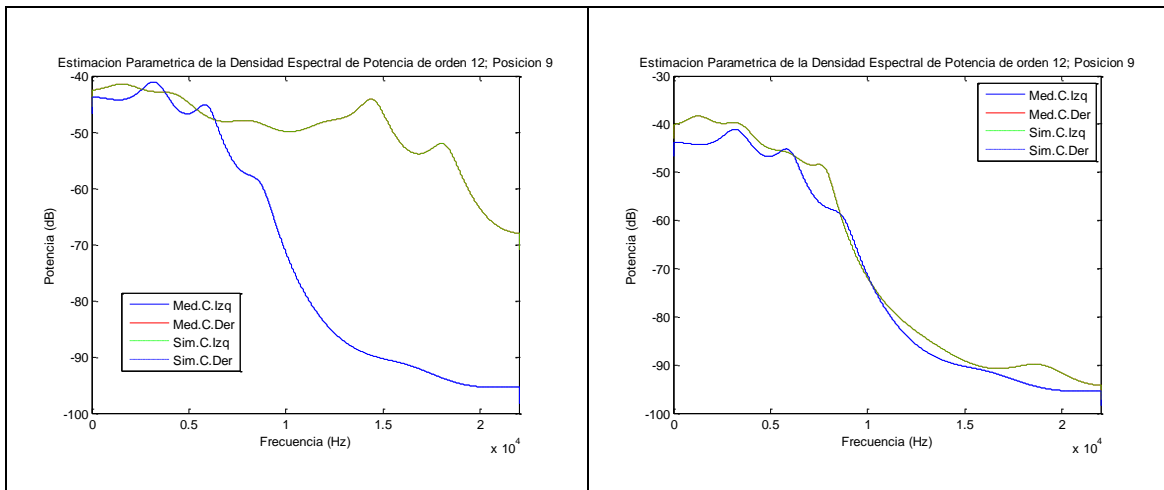


Figura 11: Estimación de la DEP en la pos. 9 del Auditorio: (a) sin filtrado y (b) con filtrado

La diferencia observada entre la BRIR simulada y la medida, en las figuras 9a, 10a y 11a, radica en el algoritmo de cálculo, el cual no calcula bien las reflexiones tempranas en cada uno de los modelos. Aquí se ha utilizado el mismo filtro adaptado para realizar el ajuste espectral en cada una de las salas simuladas. Este filtro es un filtro FFT extraído semiempíricamente. Se podría mejorar este procedimiento utilizando un filtrado adaptativo.

A partir de las respuestas impulsivas filtradas y sin filtrar, hemos realizado la auralización de un fragmento de una sinfonía de Mahler. Éste es un fragmento orquestal en *tutti*, por lo que el rango de frecuencias que abarca el fragmento es lo suficientemente amplio como para apreciar el efecto del filtrado, el cual ajusta la respuesta impulsiva de la sala simulada a la medida.

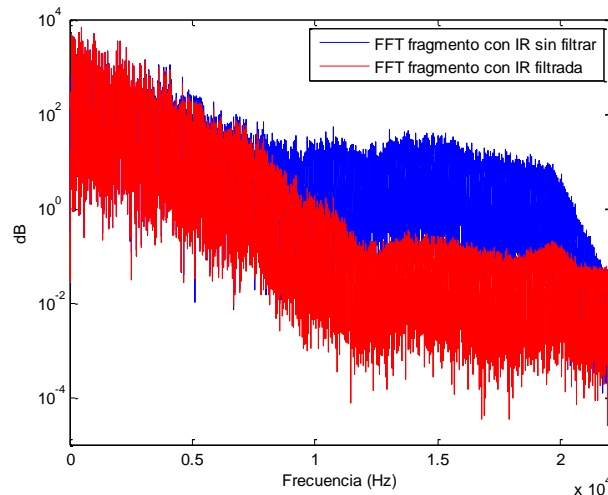


Figura 12: FFT de las auralizaciones realizadas en el modelo del Paraninfo.

5. CONCLUSIONES

En este estudio se ha analizado la respuesta impulsiva binaural (BRIR) en tres salas de audición. Estas salas han sido previamente calibradas de acuerdo a los parámetros acústicos medidos en diferentes puntos.

El resultado obtenido directamente de la simulación es claramente diferente de la medida realizada, por lo que con el fin de mejorar la calidad de las auralizaciones se propone realizar un filtrado adaptativo de la señal simulada. En este caso se ha aplicado un filtro FFT obtenido semiempíricamente y el resultado de las simulaciones se adapta bien a la medida, por lo que la calidad de las auralizaciones simuladas ha mejorado respecto a la auralización medida.

A partir de aquí se pretende continuar trabajando, para la mejora de la calidad de las auralizaciones, en dos vertientes: la aplicación de algoritmos más sofisticados de filtrado adaptativo para el ajuste de la señal simulada y la combinación del algoritmo de trazado de rayos con técnicas de onda completa (en este caso FDTD).

6. AGRADECIMIENTOS

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

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Stan Guy-Bart, Embrechts Jean-Jacques, Archambeau Dominique. "Comparison of different impulse response measurement techniques". JAES, Vol. 50, Issue 4, pp 249-262, April 2002.
- [2] Marple, S.L., Digital Spectral Analysis, Prentice-Hall, 1987, Chapter7.
- [3] J. S. Suh and P. A. Nelson. "Measurement of transient response of rooms and comparison with geometrical acoustic models". J. Acoust. Soc. Am., 105, 2304-2317, (1999).
- [4] Morset Sound Development, WinMLS 2004 measuring software, Users manual
- [5] CATT-Acoustics v8. User's Manual: Room Acoustic Prediction and Desktop Auralization. CATT, Göthenburg (Sweden), 2002.
- [6] M. Vorländer, "Simulation and auralization of broadband room impulse responses". TecniAcustica 2009, Cadiz (Spain).