

Procedimiento para obtener respuestas al impulso de un recinto, y su aplicación en sistemas multicanal*

Procedure for obtaining impulse response of a room, and their application in multichannel systems

Recibido: 3 de junio de 2014 • Aceptado: 3 de noviembre de 2014

Para citar este artículo: M. Biembengut, «Modelaje matemático en la enseñanza de Matemática en la Ingeniería: posibilidades y dificultades», *Ingenium*, vol. 16, n.º 31, pp. 71-92, mayo, 2015.



Joe Flores Noriega**

Resumen

Esta investigación está basada en el empleo de la tecnología y el cómputo aplicado a señales acústicas de un recinto, como herramienta para mejorar la experiencia del oyente durante la reproducción de un material musical o ejecución «en vivo». Se requiere para ello de un proceso diseñado con tal fin y de un recinto preparado para la emisión de señales de audio en formato multicanal. El presente documento guiará al lector a través del proceso hasta llegar a las demostraciones finales.

Palabras clave

Reverb, convolución, sistema multicanal, respuesta al impulso.

Abstract

This project is based on the use of technology and computation applied to acoustic signals of a room, as a tool to enhance the listener's experience during playback of a musical material or performance "live". This requires a process designed for this purpose

* Artículo de investigación, producto derivado del proyecto de investigación Procedimiento para obtener respuestas al impulso de un recinto, y su aplicación a sistemas multicanal., realizado en Centro de Investigación del Orson Welles (CIDOW).

** Ingeniero de Sonido. Instituto Superior Tecnológico, Perú. E-mail: jflores@orsonwelles.edu.pe

and a room prepared for the emission of signals in multi-channel audio. This document will guide the reader through the process until the final shows.

Keywords

Reverb, convolution, surround system, impulse response.

1. Introducción

Uno de los procesadores más usados en los trabajos de producción musical es el reverberador, procesador físico (*hardware*) o computacional (*plugin*) que nos permite añadir a una señal, reflexiones que deben acompañar naturalmente a una fuente sonora cuando es emitida en un determinado recinto. Estas reflexiones por supuesto son creadas por medios electrónicos para simular la sensación auditiva real de una fuente captada en un recinto cualquiera.

En la actualidad podemos diferenciar los tipos de reverb según la forma como genera las reflexiones, ya sea de manera artificial o de manera natural [1]. Los reverbs artificiales tienen la limitación en la cantidad de reflexiones que pueden generar por medios electrónicos, mientras que los que llamamos reverbs naturales lo generan a partir del resultado de la Respuesta al Impulso (Impulse Response – IR) de un recinto, del cual se obtienen en vivo. «infinitas» reflexiones.

Estos reverbs que utilizan respuestas al impulso también se les conoce como Reverb de Convolución, cuya técnica está basada en la grabación de muestras del recinto a través de micrófonos generalmente omnidireccionales con una señal de estímulo que puede ser ruido rosa o *sweep tone* emitida por un parlante omnidireccional [2], de donde se obtiene la respuesta al impulso (IR), y que es cargado en los *plugin's* como archivos de audio. Una copia de la señal original «seca» es enviada al reverb de convolución para ser procesada con la IR, y se obtiene la sensación que dicha señal fue grabada en aquel recinto.

La mayor ventaja de estos procesadores está en la posibilidad que brinda de simular que una señal grabada en un estudio personal ha sido captada en un auditorio o sala de concierto famosa que tenga características acústicas agradables o, inclusive, en lugares más cotidianos, como por ejemplo, el interior de un automóvil, el sótano de la casa, el cuarto del baño, la sala de estancia, etc.

En el caso de que se hiciera una grabación de un grupo musical, por ejemplo, en la sala de una casa con condiciones acústicas agradables y que de manera precavida, se grabó la respuesta al impulso de ese ambiente; y resulta que luego se tienen que llevar esas señales a mezclar en un estudio, y en el proceso del trabajo de mezcla, surge la necesidad de grabar un instrumento más, esto se podría grabar en el mismo estudio. Luego habría que convolucionarla con la respuesta al impulso que se grabó previamente de la sala, así obtendríamos la sensación sonora de haberlo grabado ahí mismo.

En el mercado se pueden encontrar varias marcas que ya pusieron a disposición la versión demo de los reverbs de convolución y que permiten incluir las propias librerías [1].

2. marco teórico

2.1 Convolución

Convolución es un concepto que se extiende a todos los sistemas que son lineales e invariantes en el tiempo (LTI) [4]. La convolución provee una manera matemáticamente concisa para expresar el resultado de un sistema LTI, basado en una entrada arbitraria para una señal discreta y la respuesta del sistema. La convolución es expresada como:

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (x[k]h[n-k]) \quad (1)$$

En tiempo continuo la convolución es representada por el símbolo *, y puede ser escrita como:

$$y[n] = x[n]*h[n] \quad (2)$$

Un ejemplo grafico puede ayudar en demostrar por qué la convolución funciona.

Fig. 1. Una simple entrada con impulso da como resultado la respuesta de impulso del sistema

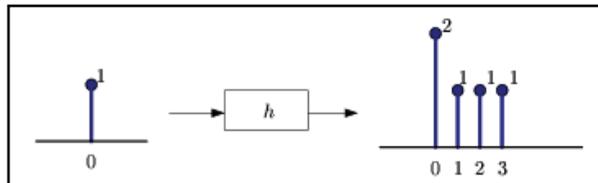
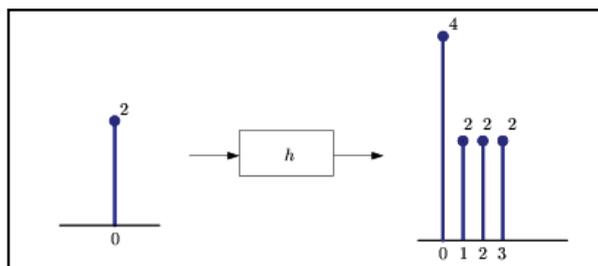
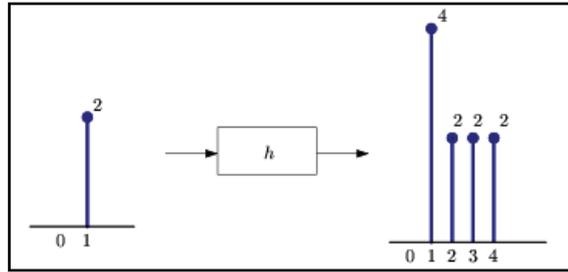


Fig. 2. Un impulso escalado como entrada da como resultado una respuesta escalada, ya que tiene la propiedad de escalamiento para un sistema lineal



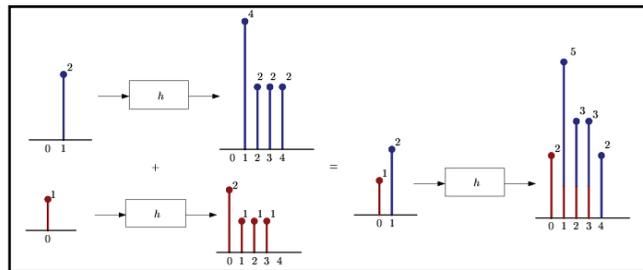
En la figura 3, se muestra la aplicación de la propiedad de tiempo invariante del sistema para demostrar que una entrada que está desplazada da como resultado una salida con la misma forma, solo que está desplazada por la misma cantidad que la entrada.

Fig. 3. Señal de entrada desplazada en tiempo



Ahora se usará la propiedad de adición del sistema lineal para completar la figura, ya que cualquier señal discreta es nada más la suma de impulsos discretos que están desplazados y escalados, podemos encontrar la salida con tan solo saber la señal de entrada y su respuesta al impulso.

Fig. 4. Propiedad de adición de los sistemas lineales



2.2 Convolución a través del eje del tiempo (un método gráfico)

En esta sección se desarrollará una interpretación gráfica de la convolución discreta. Se empezará escribiendo la fórmula de convolución dejando x ser causal, de tamaño $-m$ y h ser causal, del tamaño $-k$, en un sistema LTI. Esto nos da una sumatoria finita

$$y[n] = \sum_{l=0}^{m-1} (x[l]h[n-l]) \quad (3)$$

Note que para cualquier n tenemos la suma de productos de x desplazados en el tiempo por $h-l$. Esto es una manera de decir que multiplicamos los términos de x por los términos reflexionados en el tiempo de h y los sumamos después.

Volviendo a los ejemplos anteriores:

Fig. 5. Resultado esperado

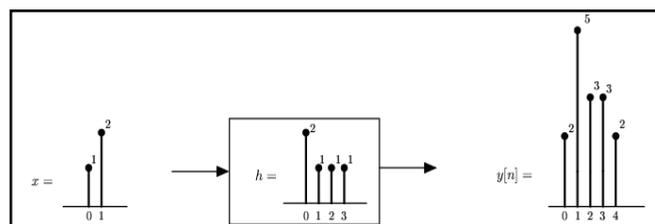


Fig. 6. Reflejo de la respuesta del impulso h , que se mueve a través del tiempo 0

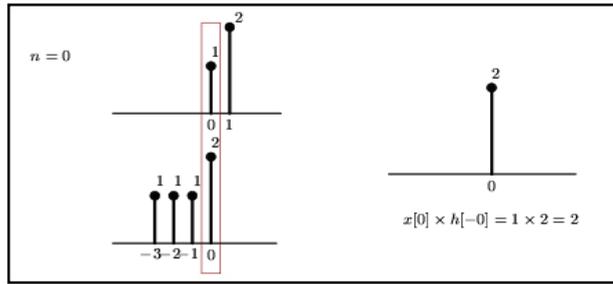


Fig. 7. Se observa que el tiempo 1, multiplica dos elementos de la señal de entrada y dos elementos de la respuesta del impulso

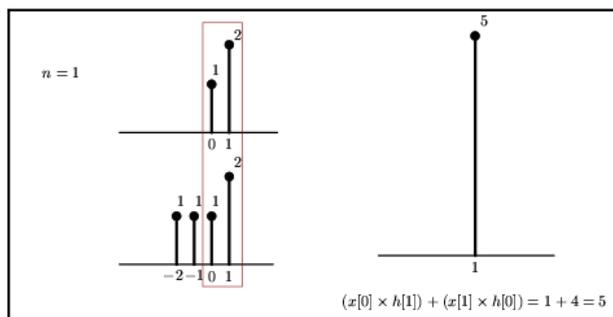


Fig. 8. Muestra en movimiento

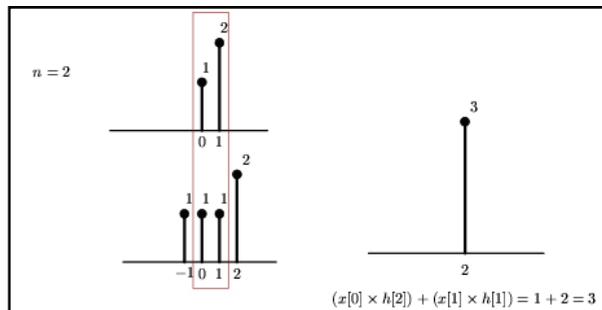
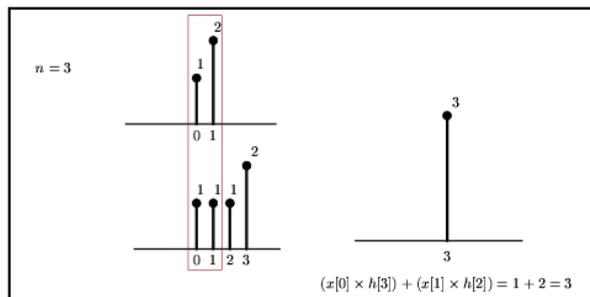


Fig. 9. Si se siguiera esto un paso más, $n = 4$, se podrá ver que se producirá la misma salida que se vio en el ejemplo inicial



El proceso anterior refleja la respuesta del impulso en el tiempo y «hacerlo caminar a través» de la entrada en la señal. Claramente, esto da el mismo resultado que escalar, desplazar, y sumar respuestas de impulsos.

Este método de reflexión en el tiempo, y de mover a través de la señal es una manera común de presentar la convolución, ya que demuestra cómo la convolución construye el resultado a través del eje del tiempo.

2.3 Auralización de la información recolectada y procesada [3][5]

Esta sección analiza la posibilidad de emplear los resultados de las mediciones para crear presentaciones audibles del comportamiento acústico del recinto original, a oídos expuestos a un campo sonoro artificial, que puede ser producido por audífonos o parlantes.

El método básico para la auralización es la convolución [4]: las respuestas al impulso son empleadas como filtros FIR (*Finite Impulse Response*), aplicados a grabaciones secas (anecoicas) de música o del habla. La convolución es una técnica de filtrado muy eficiente, particularmente si está implementada con algoritmos apropiados en procesadores potentes. Una computadora personal con un procesador de última generación puede procesar en tiempo real y con baja latencia la convolución de docenas de canales con múltiples respuestas al impulso, cada una con cientos de miles de coeficientes.

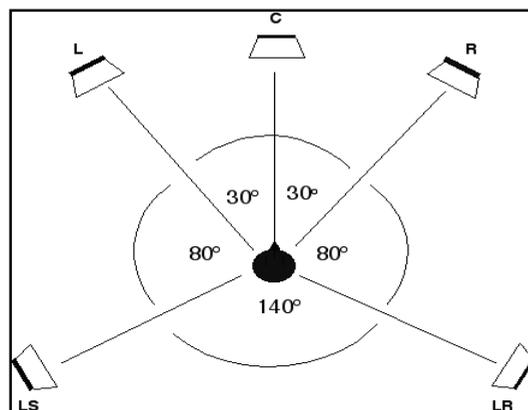
2.4 Sistema multicanal o envolvente

El sonido *surround* está dado por uso de múltiples canales de audio para provocar efectos envolventes a la audiencia, ya sea proveniente de una película o de una banda sonora; y se puede conseguir mediante la colocación física de un conjunto de altavoces o introduciendo efectos al procesar la señal, de modo que produzcan una percepción psicoacústica de 3D.

El sistema más común de sonido envolvente es el conocido como 5.1, que está regulado por la norma ITU-R BS 775 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones[7], en la que hace referencia a un sistema estéreo 3/2 con tres canales frontales L, C y R (izquierda, centro y derecha) y dos canales traseros Ls y Rs (izquierda surround y derecha surround) (ver Fig. 10).

Opcionalmente, contempla la posibilidad de extender la reproducción de bajas frecuencias con la adición de un sexto canal independiente a tal efecto.

Fig. 10. Configuración del sistema 5.1



Esta norma también regula la disposición ideal de todos los altavoces para una escucha óptima. Estableciendo una circunferencia imaginaria en la que el usuario se situaría en el centro, teniendo frente a sí los 0° , los altavoces se distribuyen de manera que el altavoz L está a -30° sobre la línea de la circunferencia, el C en 0° , el R en $+30^\circ$ y los Ls y Rs en -110° y $+110^\circ$, respectivamente. Esta situación, con el sujeto sentado justo en el centro (el llamado *sweep spot* o punto óptimo) permite que reciba los sonidos desde altavoces que están situados a la misma distancia, con lo que no percibiría retrasos ni desfases entre las señales que reproducen los distintos transductores. No hace falta decir que la altura de todas las cajas debería ser la misma (con un pequeño margen de maniobra) y esta ser, aproximadamente, la altura a la que se encuentre la cabeza del espectador.

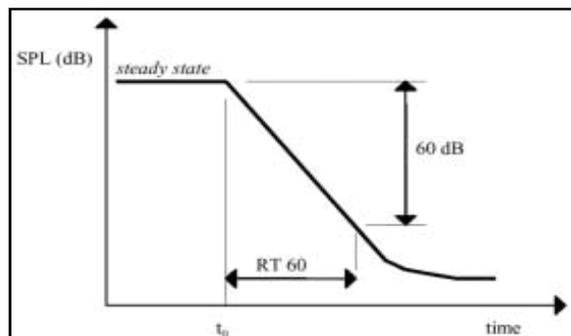
Por lo tanto, para poder crear correctamente la imagen sonora, el oído debe recibir la información procedente de cada uno de los cinco canales al mismo tiempo, por ello, los altavoces deben estar situados equidistantes con respecto al *sweep spot*. Cuando esto no es posible, se introducirá un retardo electrónico en aquellos altavoces situados más próximos al/a la oyente, hasta cuadrar el tiempo y que todas las señales lleguen al oído «en fase», es decir, al mismo tiempo.

En el plano teórico, a la hora de colocar los altavoces, habría que tener en cuenta que todos deberían estar situados a la misma altura, preferentemente a nivel del oído. Sin embargo, la presencia de obstáculos, a nivel práctico, hace que a veces se tengan que situar por encima o por debajo de esta altura ideal. Lo que hay que tener en cuenta en ese caso es que la desviación con respecto al eje horizontal, cuya referencia son los oídos del/la oyente, no sea superior a los 15° ; a partir de ese límite, los sonidos son percibidos como procedentes de arriba o abajo.

2.5 Tiempo de reverberación

Se define como el tiempo que tarda en decaer 60 dB la señal dentro de un recinto una vez apagada la fuente, o si la excitación fue de tipo impulsiva [9]. Matemáticamente hablando es la pendiente del *decay* observado una vez apagada la fuente (ver Fig. 11).

Fig. 11. Tiempo que tarda la señal en decaer 60 dB



El tiempo de reverberación (RT60) es uno de los parámetros más importantes de la acústica, si bien al día de hoy se descubre que no es el más importante de todos en los recintos de escucha crítica [6].

El RT60 ideal para un recinto dado depende del tipo de fuente sonora a ser reproducida dentro del mismo.

Es importante aclarar que habiendo registrado un *decay* de la señal de excitación dentro de un punto de un recinto, el mismo no tendrá una única pendiente sino que presentará más de una. Esto se debe a una escasa difusión (dispersión temporal) del sonido dentro del mismo.

También si se registran varios *decay* en diferentes puntos de un recinto se observará que casi todos son diferentes (en mayor o en menor medida). Esto se debe también a una escasa difusión (dispersión temporal) dentro del mismo.

3. método de medición

Este capítulo describe los detalles del método de medición, los equipos (software y hardware), y el procedimiento.

A. Equipamiento

Para este proyecto se debe considerar un sistema de reproducción, registro, almacenamiento y procesamiento de los datos, debido a eso, se escogió una estación de trabajo (computadora personal) con suficiente capacidad de procesamiento, memoria, y conectividad para interfaces de audio, con la finalidad de reproducir procesar y capturar los datos de audio. Luego se debe considerar el uso de una interfaz de audio con puertos de entrada, salida y adecuadas características técnicas para la reproducción y captura de las señales de prueba.

Se debería escoger una fuente de sonido omnidireccional capaz de excitar el recinto en todas las frecuencias audibles, sin embargo, se escogió una fuente con un patrón de radiación no omnidireccional, debido a la similitud con el patrón de radiación de nuestros casos objetivos (guitarristas, cantantes, etc.).

Para registrar las señales en el recinto se usará un micrófono direccional y con respuesta en frecuencia plana.

Por último se escogió una mezcladora para nivelar y «rutear» las señales.

Con base en estos requerimientos, los equipos seleccionados son:

- Laptop Dell 1521
- Interfaz Transit de la marca m-audio
- Rokit KRK v6
- Micrófono SM-81 Shure
- Mezcladora Tascam M-08
- Aplicaciones de audio: Adobe Audition, Altiverb, EASERA 1.6

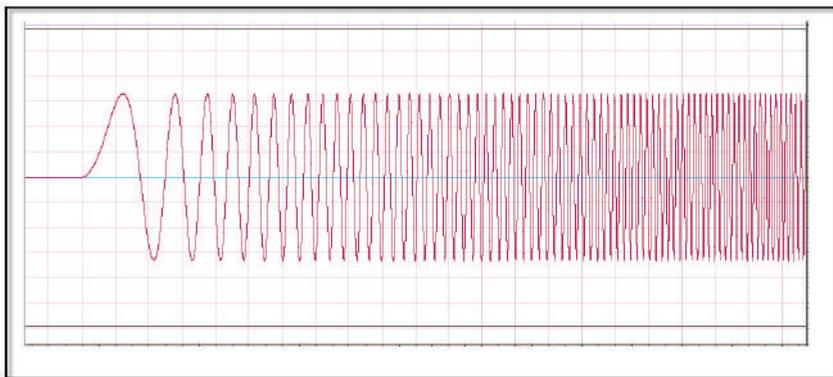
B. Señal de prueba [8]

Se debe generar un barrido de una onda sinusoidal lineal en la aplicación de audio (se usó para esto el programa Adobe Audition). Los valores de los parámetros del rango de frecuencias, longitud del *sweep tone* y la relación señal ruido se indican a continuación:

Frecuencia inicial	1 Hz
Frecuencia final	22 kHz
Longitud del barrido	7 s
Tipo de barrido	Lineal

La elección de estos valores para la medición garantiza un rango amplio de frecuencias, buen rango dinámico (aproximadamente 90 dB) y son inmunes del ruido de fondo durante la medición [8].

Fig. 12. Barrido de una onda sinusoidal lineal



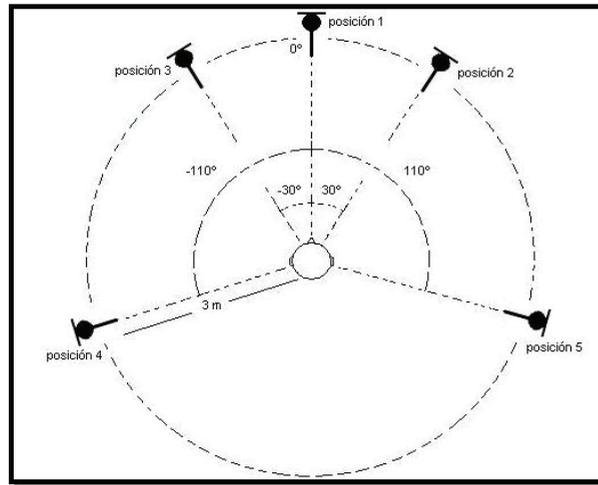
C. Puesto a punto del sistema: instalación y disposición de elementos [7]

Para realizar la instalación de este sistema no se necesita contar con un arreglo de cinco micrófonos ya que con uno solo será suficiente para realizar cinco tomas en distintos tiempos, ubicados y angulados según las recomendaciones de la norma ITU-R BS 775-1 (*International Telecommunications Union*) para el sistema multicanal 5.1.

Estas cinco posiciones deben ser trazadas alrededor del supuesto oyente formando un círculo.

La distancia entre el supuesto oyente y el micrófono debe de ser tres metros en cada una de las posiciones.

Fig. 13. Formato de posicionamiento de los micrófonos para sistema multicanal



Posición 1. Esta posición debe ser destinada a la toma central. El micrófono debe ser posicionado en el ángulo 0° , tomando como eje central al supuesto oyente.

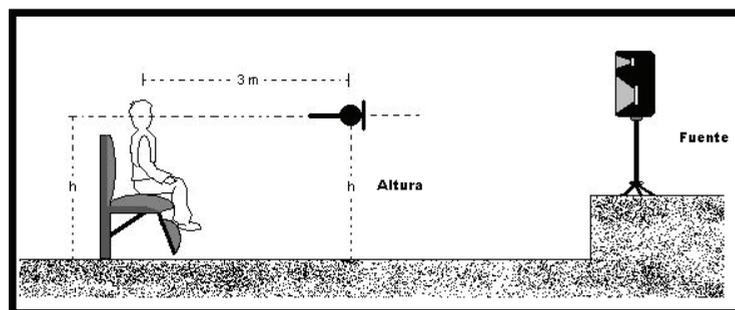
Posición 2. Esta posición debe ser destinada a la toma derecha. El micrófono debe ser posicionado en el ángulo $+30^{\circ}$, tomando como eje central al supuesto oyente.

Posición 3. Esta posición debe ser destinada a la toma izquierda. El micrófono debe ser posicionado en el ángulo -30° , tomando como eje central al supuesto oyente.

Posición 4. Esta posición debe ser destinada a la toma izquierda trasera. El micrófono debe ser posicionado en el ángulo -110° , tomando como eje central al supuesto oyente.

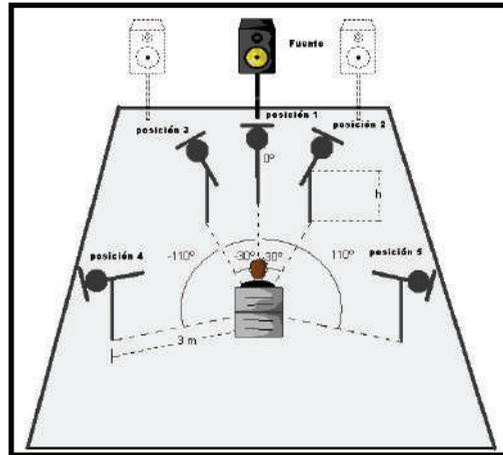
Posición 5. Esta posición debe ser destinada a la toma derecha trasera. El micrófono debe ser posicionado en el ángulo $+110^{\circ}$, tomando como eje central al supuesto oyente.

Fig. 14. Corte transversal del gráfico de posicionamiento del micrófono



El micrófono debe ser posicionado en referencia a la altura de la cabeza del supuesto oyente sentado en el punto central del recinto.

Fig. 15. Gráfico general del posicionamiento del micrófono



La fuente debe ser ubicada en la posición del supuesto ejecutante o ejecutantes, en vista de que tratamos este caso como una situación típica de la utilización del recinto para un concierto.

D. Proceso de grabación

- 1) Se debe cargar la señal de prueba (*sweep tone* lineal) asignándola a una pista del software Adobe Audition (ver Fig. 16), para que posteriormente sea enviada por la salida de la interfaz hacia un canal de la mezcladora; luego esta señal será enviada hacia el monitor autoamplificado por la salida auxiliar 1. De esta manera el *sweep tone* será emitido por el monitor (ver Fig. 17).

Fig. 16. Señal de prueba asignada a un canal del software

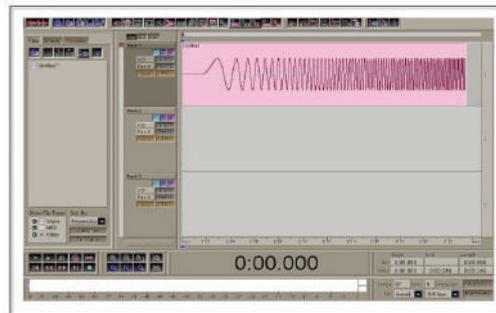
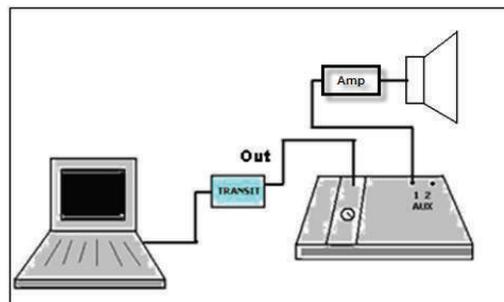
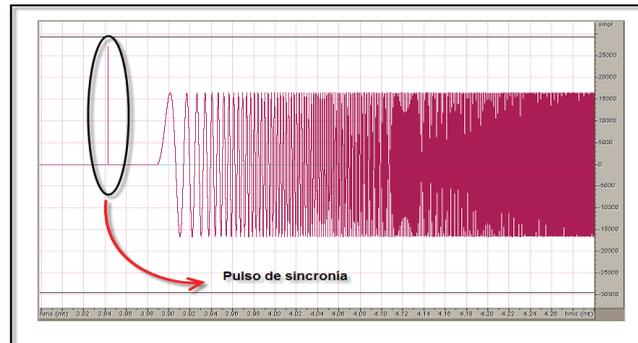


Fig. 17. Ruteo de la salida de la señal de prueba



- 2) En cuanto a la sincronía de las muestras, primero se debe añadir un tiempo de silencio (en nuestro caso de dos segundos) para generar un pulso al inicio de la señal de prueba, esto se logrará modificando manualmente la amplitud de una sola muestra digital elevándola a un nivel considerablemente alto (ver Fig. 18), de esta manera se podrá obtener una referencia de sincronía por muestra; la cual será enviada y grabada por línea en la misma pista de las muestras correspondientes.

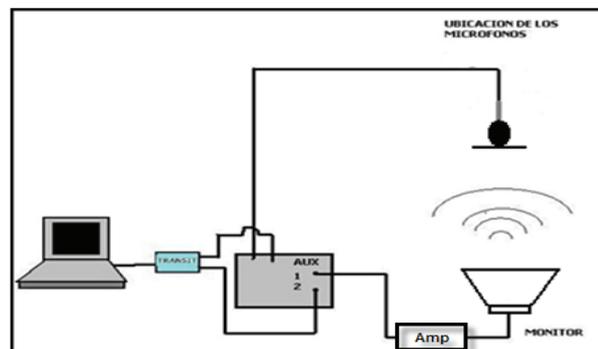
Fig. 18. Pulso de sincronía



Para esto la mezcladora, debe recibir por el canal 2 la señal del *sweep tone* desde el computador por la interfaz.

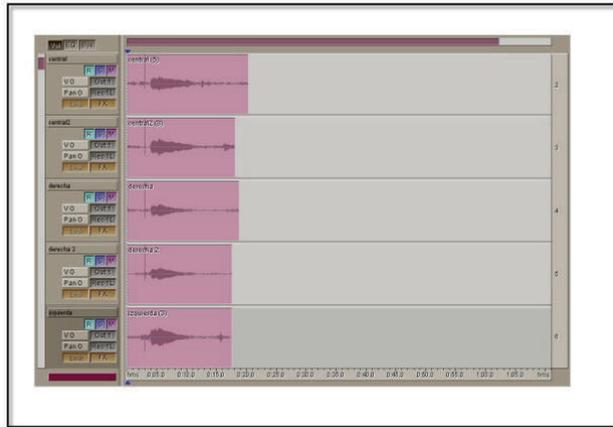
Esto se conseguirá alternando el envío de los dos auxiliares destinados a registrarse en el computador. En el momento del pulso, se abrirá el auxiliar dos y se mantendrá cerrado el auxiliar uno, mientras que en el momento de la reproducción de la señal registrada (*sweep tone*) se debe cerrar el auxiliar dos y abrir el auxiliar uno (ver Fig. 19).

Fig. 19. Ruteo de entrada y salida del pulso y de la señal de prueba grabada



- 3) El micrófono se posicionará de acuerdo al método propuesto por el arreglo multicanal, de esta forma se tomarán muestras en distintas posiciones dentro del recinto. Cada una de las muestras registradas (cinco en total) será grabada en distintas pistas del software. La señal que registrará el micrófono será recibida por la mezcladora por el canal 1, activando el phantom power; esta será enviada hacia el interfaz por el auxiliar dos; así se logrará obtener las cinco muestras de los diferentes puntos en el software (ver Fig. 20).

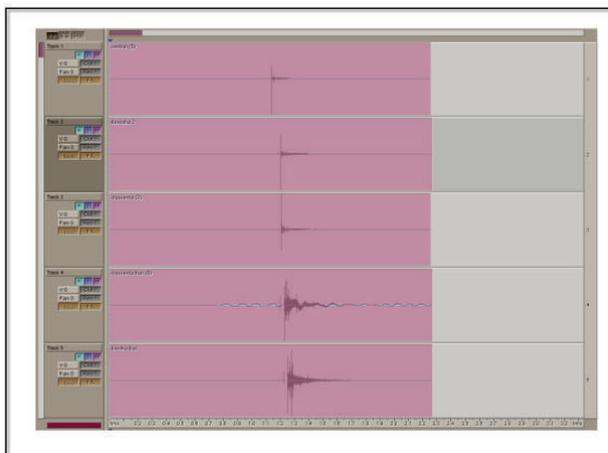
Fig. 20. Cinco muestras grabadas en el software de los diferentes puntos



- 4) Una vez grabadas las cinco muestras en distintas pistas, se invertirá el *sweep tone* mediante el software. Este *sweep tone* invertido debe ser cargado al *plug-in* (en nuestro caso Aurora 3.2; ver Fig. 21) para convolucionarlo con cada una de las muestras grabadas, de esta manera se conseguirán cinco respuestas al impulso distintas por cada uno de los puntos de ubicación, a este proceso se le llama también correlación cruzada.

Así se logrará tener la respuesta al impulso por pista.

Fig. 21. Respuestas al impulso de los cinco canales



- 5) Por último, se deben exportar cada una de las muestras como archivos de audio independientes, con el formato WAV, para luego ser utilizadas por el *plug-in* de convolución.

E. Aplicación de las respuestas al impulso en sistemas multicanal

La técnica aplicada para obtener la respuesta al impulso del recinto con muestras en diferentes puntos, es inexacta en la aplicación directa del *plug-in*, puesto que estos no contemplan el tiempo de retardo real ocasionado por la ubicación del micrófono.

El pulso de referencia fue útil para la sincronización de las muestras grabadas, para luego, calcular el tiempo estimado de la diferencia entre cada una de la primera toma captadas del *sweep tone*.

Estas diferencias de tiempo deben ser insertadas al inicio de cada archivo de audio como un tiempo de silencio antes de ser cargados al *plug-in*, para así tener el retraso de cada uno de los canales.

Luego, se procedió a cargar el *plug-in* de convolución en tiempo real de respuestas al impulso de un software anfitrión (en nuestro caso, Nuendo 2.1 de Steinberg, ver Fig. 22), insertándolos en cinco pistas. Cada uno de los *plug-in* insertados tuvo cargados de respuestas al impulso distintas de acuerdo a la ubicación destinada y el tiempo de retardo.

Este proceso de convolución en tiempo real será realizado por el software elegido (Altiverb 5.0) [1].

El arreglo de parlantes debe ser ubicado de manera que sean correspondientes a las posiciones del micrófono en el proceso de grabación (ver Fig. 23).

Fig. 22. Nuendo y Altiverb

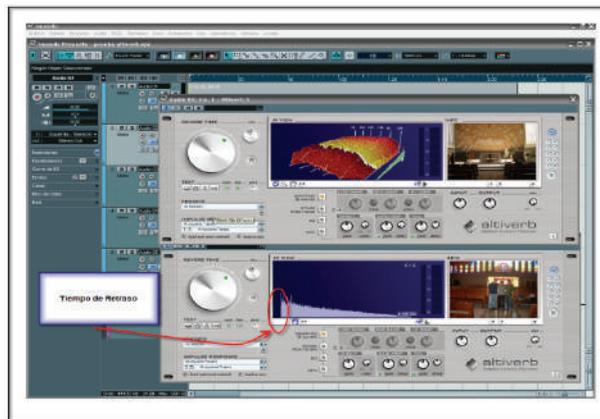
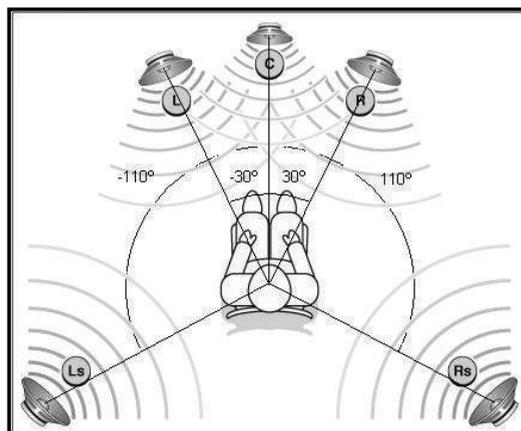


Fig. 23. Ubicación de los parlantes según estándar



4. resultados

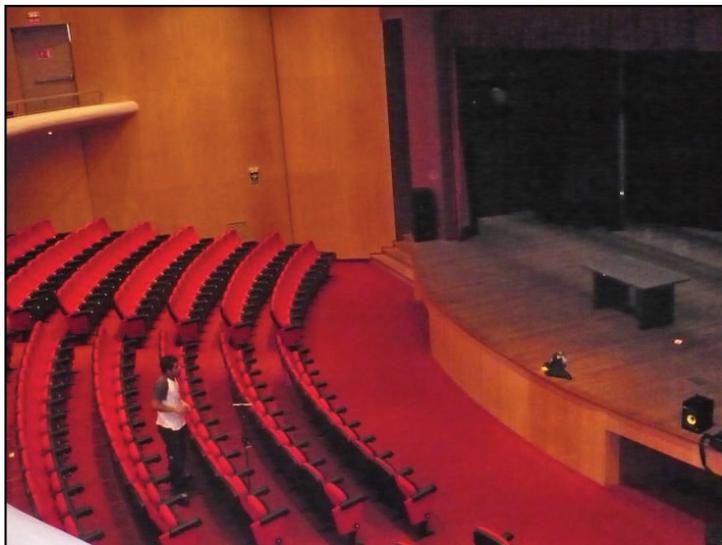
Este procedimiento fue aplicado para obtener librerías de respuestas al impulso de dos recintos de diferente aplicación, en la ciudad de Lima -Perú:

- Iglesia San Francisco de Borja; San Borja.
- Auditorio de la Biblioteca Nacional del Perú, San Borja.

Fig. 24. Iglesia San Francisco de Borja



Fig. 25. Auditorio de la Biblioteca Nacional del Perú



A continuación se muestran las respuestas al impulso en todas las posiciones en la Iglesia San Francisco de Borja, con el análisis espectral *waterfall*, respectivamente:

Fig. 26. Respuesta al impulso en la posición central - Iglesia San Francisco de Borja

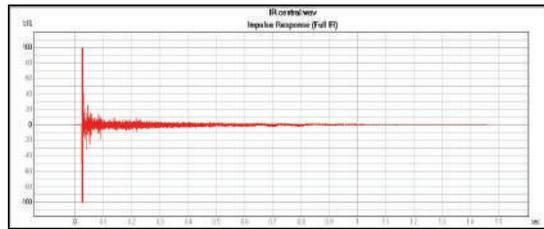


Fig. 27. Waterfall posición central - Iglesia San Francisco de Borja

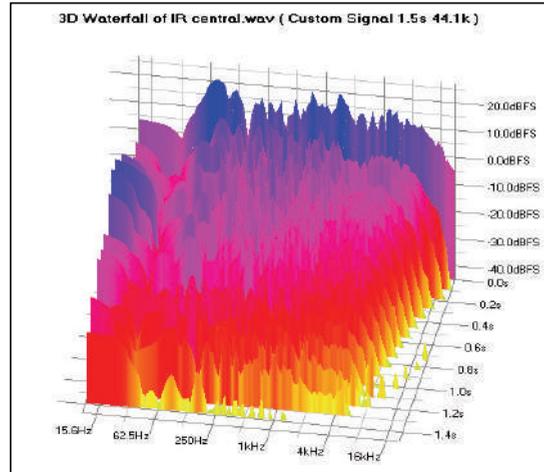


Fig. 28. Respuesta al impulso en la posición derecha - Iglesia San Francisco de Borja

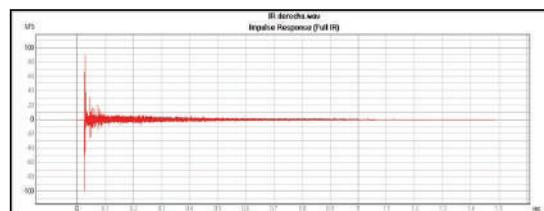


Fig. 29. Waterfall posición central - Iglesia San Francisco de Borja

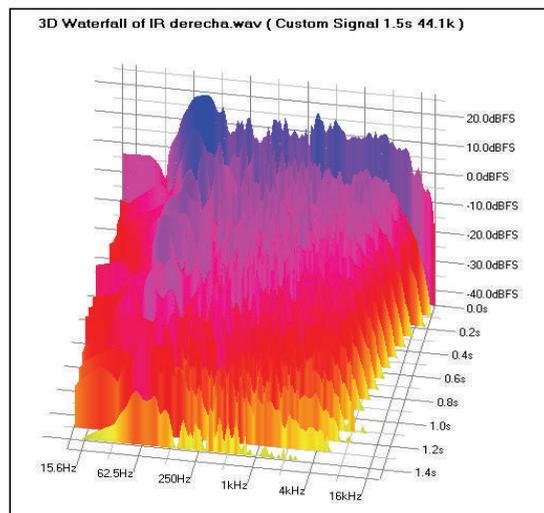


Fig. 30. Respuesta al impulso en la posición izquierda - Iglesia San Francisco de Borja

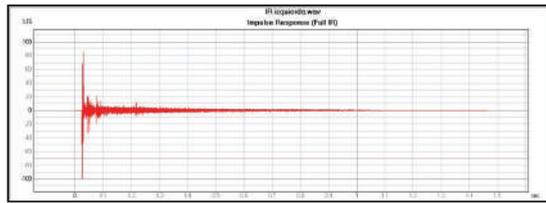


Fig. 31. Waterfall posición izquierda - Iglesia San Francisco de Borja

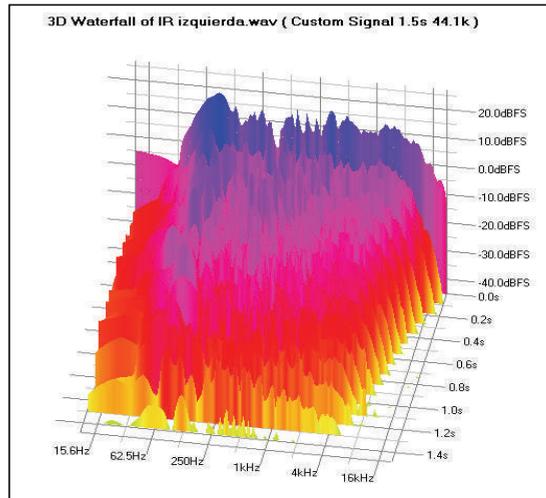


Fig. 32. Respuesta al impulso en la posición izquierda atrás - Iglesia San Francisco de Borja

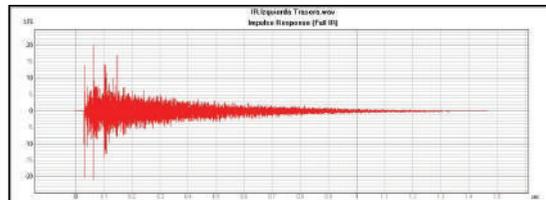


Fig. 33. Waterfall posición izquierda atrás - Iglesia San Francisco de Borja

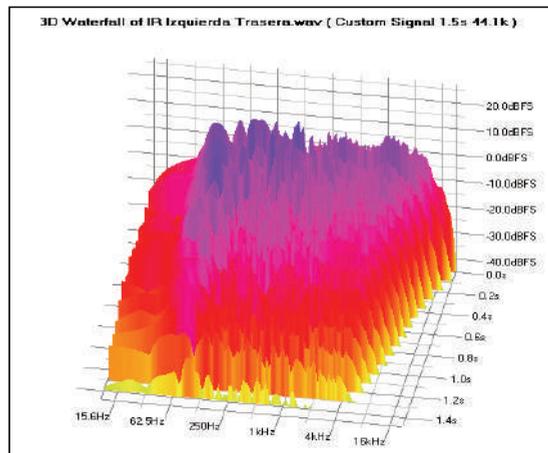


Fig. 34. Respuesta al impulso en la posición derecha atrás - Iglesia San Francisco de Borja

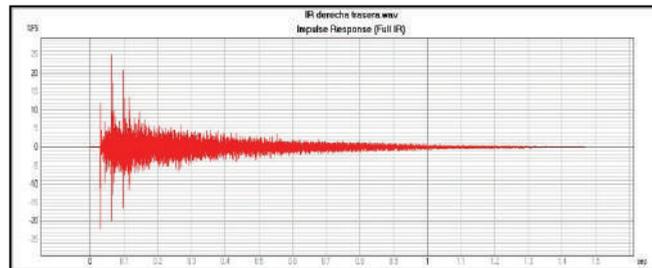
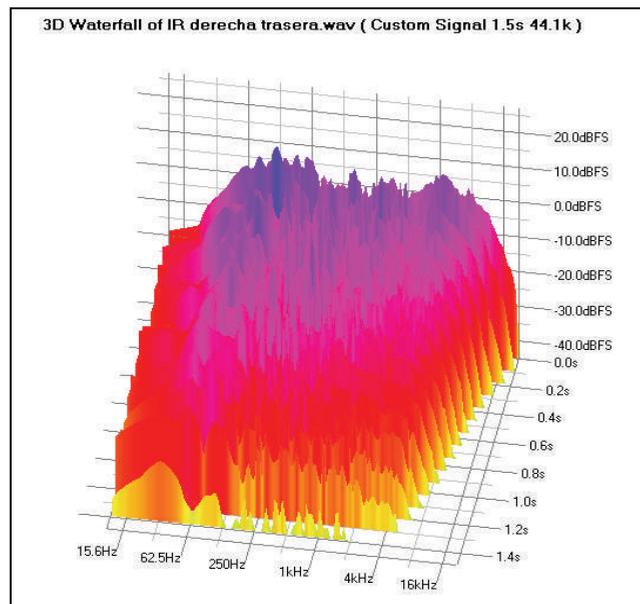


Fig. 35. Waterfall posición derecha atrás - Iglesia San Francisco de Borja



A continuación se muestran las respuestas al impulso en todas las posiciones en el Auditorio de la Biblioteca Nacional del Perú, con el análisis espectral *waterfall*, respectivamente:

Fig. 36. Respuesta al impulso en la posición central - Auditorio de la Biblioteca Nacional del Perú

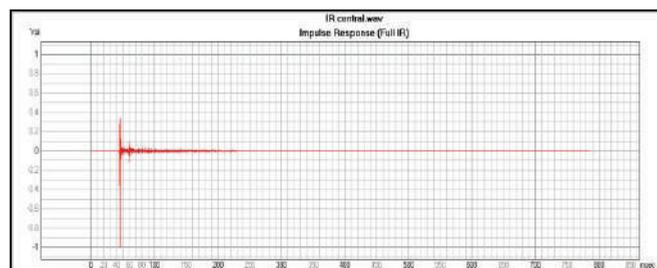


Fig. 37. Waterfall posición central - Auditorio de la Biblioteca Nacional del Perú

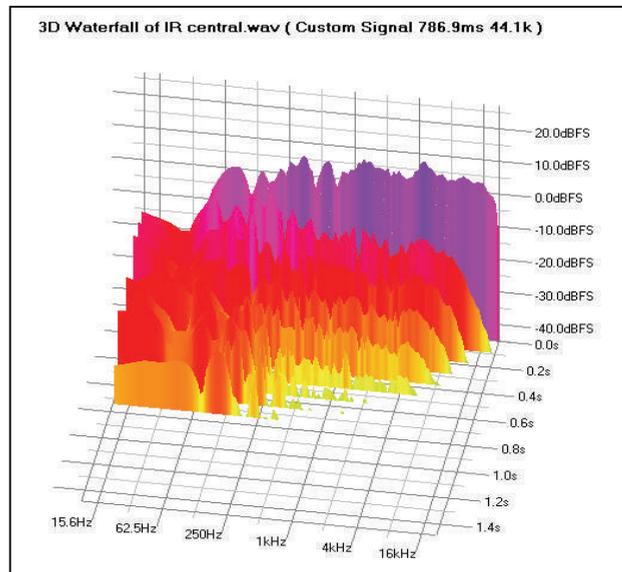


Fig. 38. Respuesta al impulso en la posición derecha - Auditorio de la Biblioteca Nacional del Perú

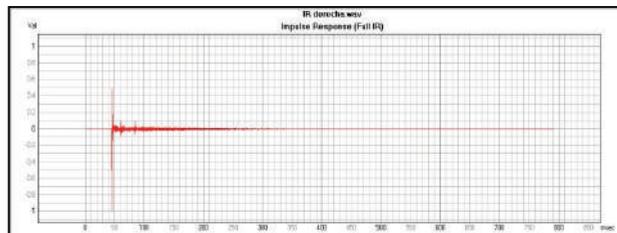


Fig. 39. Waterfall posición derecha - Auditorio de la Biblioteca Nacional del Perú

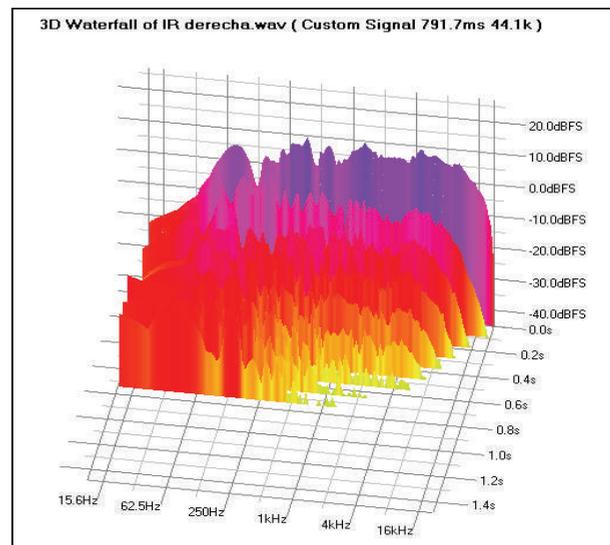


Fig. 40. Respuesta al impulso en la posición izquierda - Auditorio de la Biblioteca Nacional del Perú

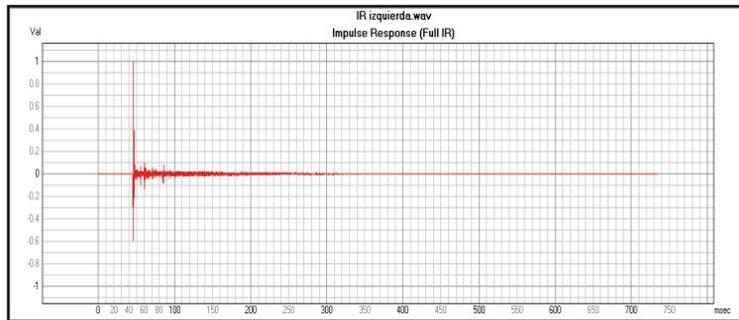


Fig. 41. Waterfall posición izquierda - Auditorio de la Biblioteca Nacional del Perú

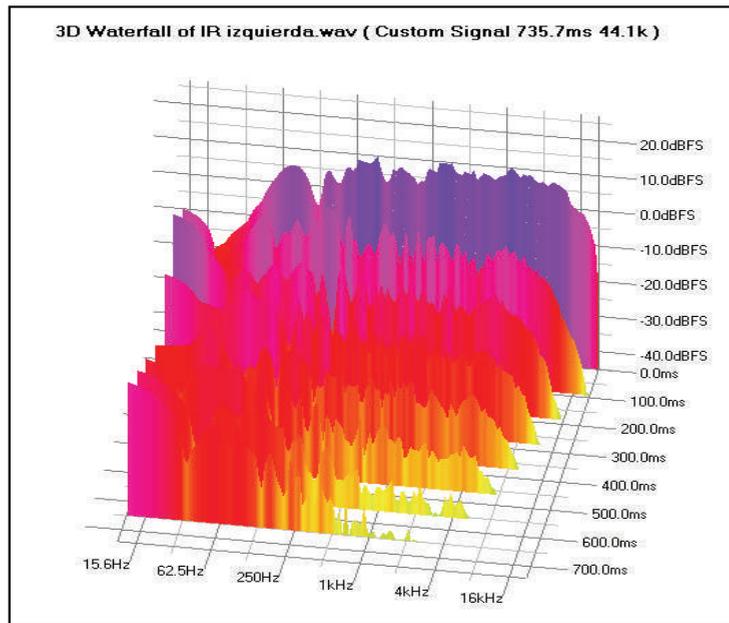


Fig. 42. Respuesta al impulso en la posición izquierda atrás - Auditorio de la Biblioteca Nacional del Perú

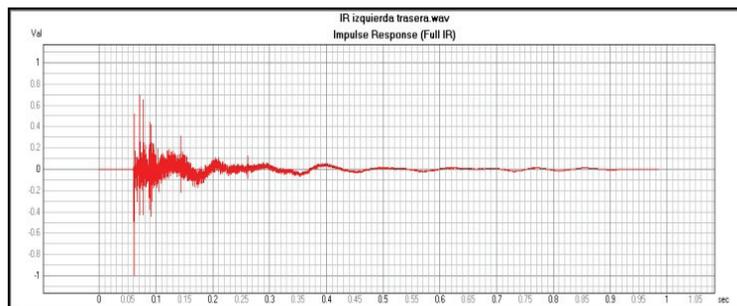


Fig. 43. Waterfall posición izquierda atrás - Auditorio de la Biblioteca Nacional del Perú

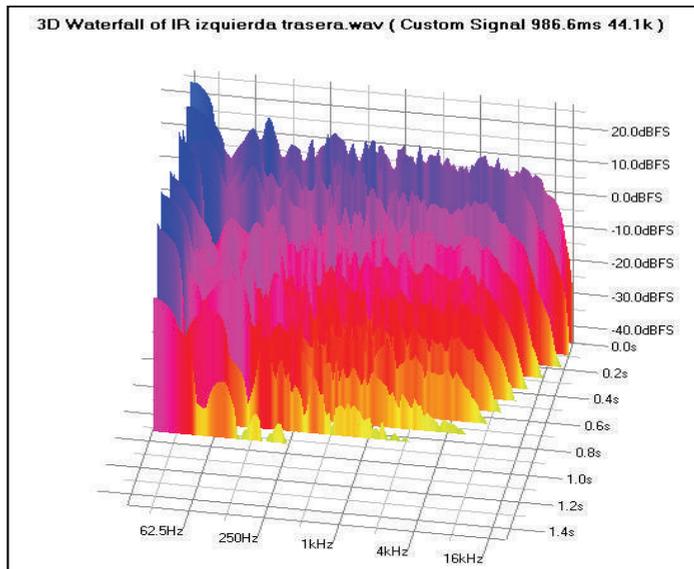


Fig. 44. Respuesta al impulso en la posición derecha atrás - Auditorio de la Biblioteca Nacional del Perú

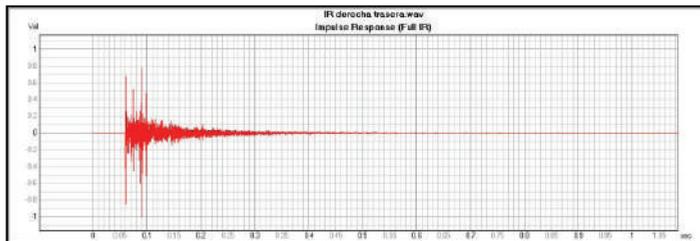
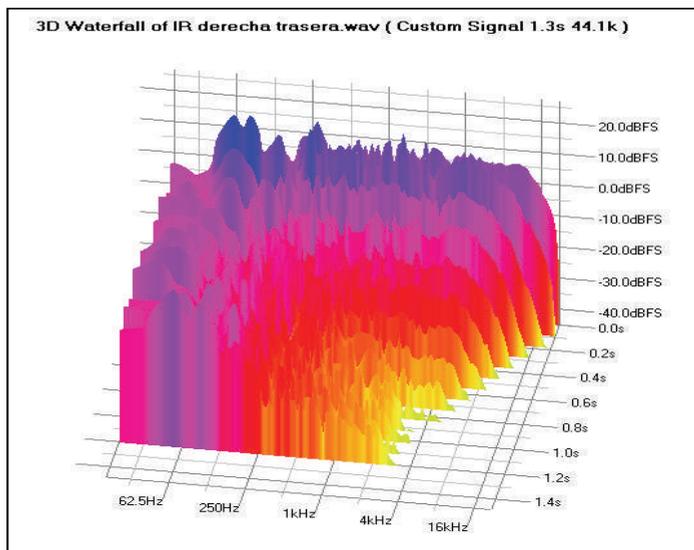


Fig. 45. Waterfall posición derecha atrás - Auditorio de la Biblioteca Nacional del Perú



5. Conclusiones

Este trabajo ha descrito un procedimiento básico nuevo y efectivo, que permite la captura de la información acústica de recintos. El procedimiento se basa en la medición y captura de la respuesta al impulso usando la configuración de un solo micrófono, un parlante y una interfaz de audio con dos canales de entrada.

Con la información obtenida, es posible derivar de las respuestas al impulso, información acústica para la reproducción de espacios en sistemas multicanal, tales como, el RT60, EDT, C80, C50, STI, etc.

En relación con la reproducción de campos sonoros, las mediciones pueden ser usadas para la auralización utilizando las recomendaciones del ITU-R BS 775-1, conforme a la ubicación de los parlantes.

Este trabajo ha sido aplicado experimentalmente en dos recintos: Iglesia Católica San Francisco de Borja y el Auditorio de la Biblioteca Nacional del Perú, cuyos resultados han sido recopilados como muestras para generar una librería de respuestas al impulso.

Además, las mediciones obtenidas por el método, pueden ser aplicadas utilizando los procesamientos de los softwares de reverb de convolución, mejorando el proceso de los reverberadores artificiales.

6. Referencias

- [1] Audio Ease (2006): *Altiverb (manual)*.
- [2] Bradley, J. (2004): *Using ISO 3382 measures, and their extensions, to evaluate acoustical condition in concert halls. Institute for research in construction, National research council (paper)*.
- [3] Farina, A. (2000): *Convolution of anechoic music with binaural impulse response. Parma, Italy (paper)*.
- [4] Farina, A. (2007): *Recording concert hall acoustics for posterity. AES 24th International Conference on Multichannel Audio*.
- [5] Farina, A. y Lamberto, T. (2005): *Measurement and reproduction of spatial sound characteristic of auditoria. Acoust. Sci & Tech. 26, 2 (paper)*.
- [6] Ferreyra, S. P. y Elias, J. M. (2006): *Análisis comparativo de parámetros acústicos de recintos, utilizando diferentes técnicas de medición de la respuesta al impulso. V Congreso Iberoamericano de Acústica, Santiago de Chile (paper)*.
- [7] Lund, T. (2000): *Enhanced Localization in 5.1 Production. AES 109th Convention, Los Ángeles, California, USA*.
- [8] Müller, S. (2002): *Transfer-Function Measurement with Sweeps*
- [9] Peltonen, T. (2003): *Room acoustical measurement*.
- [10] Radelli-Sanchez, R. y Baraniuk, R. (2005): *Discrete-Time Convolution. Version 1.4, The Connexions Project*.