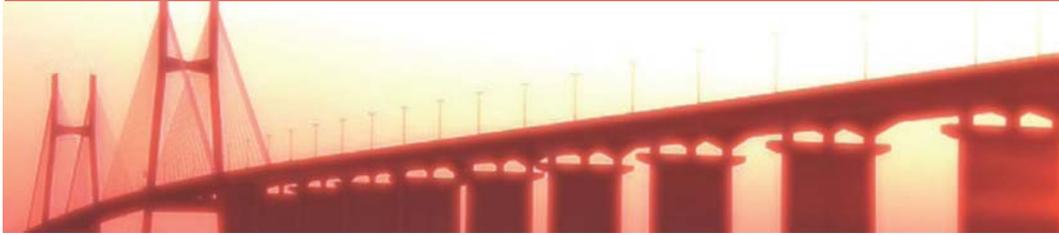


PRIMERAS JORNADAS REGIONALES DE ACÚSTICA AdAA 2009

19 y 20 de noviembre de 2009, Rosario, Argentina



AdAA2009-A003

Diseño e implementación de software de medición y simulación de recintos acústicos: *I_Response*

David Cortés Millán^(a),
Ismael Ortega Galván^(b).

(a) Ingeniero consultor acústico. Calle 174 N° 55-55 int 11, Bogotá, Colombia. E-mail: da_beatcortes@hotmail.com

(b) Ingeniero consultor acústico, Calle 163 B N° 50 – 80 int 2 apto512 Conjunto Residencial La Estancia III, Bogotá, Colombia. E-mail: tutuortegag@hotmail.com

Abstract

It is presented the process of design and implementation of a software tool for the acoustic measurement, analysis and simulation of rooms based on the obtaining of the impulse response of those rooms using two methods: generating sine sweeps with system and calculating the deconvolution between the generated and measured signals, and the second method based on obtaining the impulse response using an impulsive source external to the system. The system, called *I_Response*, allow the modification of acoustics parameters (RT20, RT30, EDT) of the measured impulse responses through the modification of the slope of its Schroeder curve and the simulation of the room using an auralizing algorithm based on convolution.

Resumen

Se presenta el proceso de diseño e implementación de una herramienta de software para la medición, análisis y simulación de recintos acústicos basado en obtención de la respuesta al impulso de los mismos utilizando dos métodos: el primero basado en la generación de barridos senoidales y posterior deconvolución entre las señales generada y medida, y el segundo basado en la obtención de la respuesta utilizando fuentes impulsivas externas al sistema. El sistema, llamado *I_Response*, permite la modificación de los parámetros acústicos (RT20, RT30 y EDT) de las respuestas medidas a través de la modificación de la pendiente de la integral de Schroeder de estas y la posterior simulación del recinto en análisis a través de un algoritmo de auralización basado en convolución.

1 Introducción

La medición de parámetros acústicos objetivos como el RT30, RT20 y EDT es de vital importancia para caracterizar un recinto y determinar qué tipo de medidas correctivas deben ser aplicadas en este con el fin de alcanzar un óptimo comportamiento para una aplicación determinada. De la misma manera, la posibilidad de simular – escuchar- cómo sonarían fuentes sonoras (voces, instrumentos musicales, etc) dentro del recinto en análisis permite verificar auditivamente aspectos subjetivos del mismo así como demostrar a clientes, colegas y personas no conocedoras del tema, diversos problemas que afectan la calidad sonora de un lugar. Por otro lado, simular también cómo se verían afectados aspectos subjetivos a partir de la modificación de parámetros objetivos se constituye en una gran herramienta para predecir la efectividad de un posible tratamiento acústico.

A continuación es presentado el proceso de diseño y desarrollo de una herramienta software – *I_Response*- que combina estos tres procesos con el fin de ser un instrumento de diseño, análisis y simulación de recintos acústicos.

2 Marco Teórico

2.1 La respuesta al impulso

La respuesta al impulso se define como la respuesta de un sistema ante una señal de entrada impulsiva. Siempre y cuando el sistema sea LTI (lineal e invariante en el tiempo) la respuesta al impulso puede obtenerse; esta señal contiene toda la información que existe acerca del comportamiento del sistema, permitiendo además el cálculo de la señal de salida del sistema ante cualquier señal de entrada. Según la normativa ISO 3382 una respuesta al impulso de un recinto se define como “una función de tiempo de la presión sonora recibida en un recinto y resultado de excitación del recinto por una función delta dirac”.¹

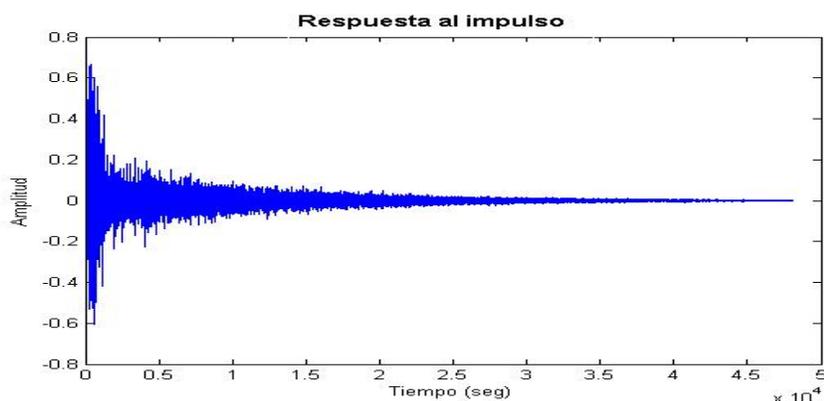


Figura 1. Respuesta al impulso.

¹ Normativa ISO3382 1997, Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.

2.2 Medición de la Respuesta al Impulso de recintos acústicos

2.2.1 Mediciones de respuesta al impulso usando barridos senoiales (Sweep sine technic)²

La respuesta al impulso usando este método se obtiene a través de un proceso matemático que se realiza entre la señal de prueba (barrido senoidal en este caso) que se emite en el recinto y esa misma señal de prueba grabada con uno o más micrófonos ubicados dentro de este. A partir de estas dos señales se realiza el proceso de deconvolución, a través del cual se calcula la respuesta al impulso del recinto.

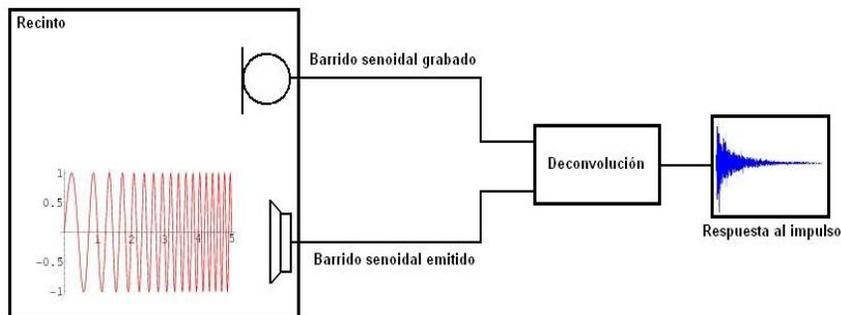


Figura 2. Flujo del proceso de medición de respuesta al impulso usando barridos senoiales.

2.2.2 Mediciones de respuesta al impulso Señales impulsivas

Esta técnica de medición es la más sencilla de todas y consiste en la captura por medio de uno o más micrófonos de una señal impulsiva emitida (disparos, explosiones de mechas, etc.) dentro de un recinto. Este método facilita la obtención de la respuesta al impulso ya que esta señal se captura directamente sin tener que realizar posteriores cálculos o procesos matemáticos, ahorrando tiempo de medición.



Figura 3. Flujo del proceso de medición de respuesta al impulso usando señales impulsivas.

2.3 Simulación acústica y auralización

La simulación acústica agrupa el conjunto de técnicas que buscan representar de forma audible la manera exacta como una persona percibiría una fuente sonora en un espacio acústico dado. Así por ejemplo, utilizando dichas técnicas se podría sentir la diferencia entre

² Müller, Swen; Massarani, Paulo, Transfer-Function Measurement with Sweeps

un discurso escuchado en la primera o en la última fila de una iglesia, en un salón de clases o en un gran auditorio, sean estos reales o imaginados.

Uno de los principales conceptos, sino el principal, dentro de la simulación acústica es el de *auralización*, definida como *la técnica para crear archivos de sonido audibles a partir de datos numéricos (simulados, medidos o sintetizados)*³.

En general, el proceso auralización consiste en obtener la respuesta al impulso de un recinto para una configuración fuente - receptor dada, ya sea midiéndola *in situ* u obteniéndola por cualquier otro medio (generándola a partir de un ecograma, por ejemplo) para luego calcular la convolución entre esta y un **archivo de audio anecoico** (música, habla, etc). Esto da como resultado una muestra audible de la manera en que sonaría este **archivo de audio** al ser reproducido en el recinto medido.

Es de tener muy presente que el grado de realismo de la simulación será proporcional a cuán bien sea emulada la forma de escucha humana durante la medición de la respuesta al impulso. Así, una Respuesta al Impulso Binaural proporcionará datos para crear una simulación mucho más acercada a la realidad que una simulación basada en respuestas al impulso medidas con técnicas estereofónicas o monofónicas, pudiendo incluso simular eventos sonoros en un espacio acústico tridimensional.

Como será visto más adelante, *I_Response*, es una herramienta software que permite realizar auralizaciones por medio de la medición de respuestas al impulso y su posterior convolución con archivos de audio (música, habla, etc).

3 Implementación final

3.1 Diseño

Esta sección es la descripción del proceso de análisis, diseño, implementación y prueba de un software de medición y simulación de recintos acústicos. El diseño del mismo fue implementado utilizando Matlab con el Signal Processing Toolbox como entorno de desarrollo y verificación.



Figura 4. Ciclo de desarrollo básico de sistemas de software.

Tomando como guía el ciclo de diseño presentado en la Figura 4, donde se plantea un ciclo básico de desarrollo de sistemas⁴ DSP compuesto por las etapas de análisis de requisitos e investigación preliminar, diseño, implementación y pruebas, y usando como referencia diferentes herramientas de medición y análisis de recintos acústicos disponibles en el

³Vorländer, Michael; (2008). "Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality". Springer, Berlín, Alemania.

⁴Weitzenfeld, Alfredo, Ingeniería de software orientada a objetos.

mercado, así como las necesidades propias del proceso de acondicionamiento acústico de recintos, se delimitan los requerimientos y características del sistema deseado, teniendo como resultado una descripción escrita de este. A partir de esta descripción inicial del sistema y de los objetivos planteados en el proyecto, el producto es concebido como cuatro subsistemas que realizan los principales procesos (convolución, modificación de parámetros acústicos de una respuesta al impulso, medición de respuesta al impulso de recintos y visualización de datos) y una interfaz gráfica que permite controlar eficientemente el funcionamiento de estos.

Cada uno de los subsistemas mencionados se desarrolló siguiendo el ciclo mostrado en la Figura 4, así el desarrollo de cada uno inició con una investigación acerca de los conceptos matemáticos y acústicos sobre los que cada uno se fundamenta y terminó con la verificación y prueba de los códigos fuente MATLAB implementados. La tabla (1) presenta una descripción sintetizada de los procesos llevados a cabo para crear cada uno de los subsistemas

Tabla 1. Procesos llevados a cabo para crear cada uno de los elementos del sistema.

Proceso	Requisitos	Diseño	Codificación	Verificación
Convolución	Definición (FFT, Convolución directa, Convolución FFT), creación de algoritmos de reverberación artificial y Convolución FFT (no tiempo real).	Construcción de diagrama de bloques de Convolución por FFT	Se genera código para código fuente en MATLAB	Pruebas del sistema con diferentes frecuencias de muestreo, respuestas al impulso y señales de entrada.
Medición RI	Investigación acerca de las diferentes técnicas de medición de respuesta al impulso: Fuente impulsiva y Fuente interna mediante barridos senoidales.	Construcción de diagrama de bloques de Medición de Respuestas al impulso	Se genera código para código fuente en MATLAB	Se realiza medición de respuesta al impulso en una capilla de la ciudad
Modificación RI	Definición de conceptos básicos (Integral de Schroeder, tiempo de reverberación, Early Decay Time),	Construcción de algoritmo de cálculo y modificación de los parámetros.	Este proceso fue implementado en el producto final utilizando una función creada usando como base el modelo y el algoritmo inicial.	Se modificaron repuestas al impulso comparándolas gráfica y auditivamente con sus originales.

Interfaz	Delimitación de todas las funciones que la interfaz le puede prestar al usuario, y creación un bosquejo base .	Construcción y prueba de la interfaz utilizando las herramientas provistas por el GUIDE de MATLAB.	Construcción y prueba de la interfaz utilizando las herramientas provistas por MATLAB.	Utilización iterativa del sistema probando todas las posibilidades.
----------	--	--	--	---

3.2 Interfaz Principal

El Software I_Response es un sistema que permite realizar la medición de la respuesta al impulso de un recinto (mono/stereo), analizar sus principales parámetros acústicos, y realizar una auralización del recinto. A partir de la respuesta al impulso medida, el sistema permite calcular y analizar los parámetros acústicos RT20, RT30 y EDT, cada uno de estos por bandas de octava. A si mismo permite modificar cada uno de ellos, también por bandas de octava, permitiéndole al usuario del software tener un control amplio sobre la respuesta al impulso y por ende contar con una herramienta de simulación muy versátil que logra simular modificaciones del recinto en cada banda y auralizar los resultados de esta modificación sin haber realizado dichas modificaciones en el recinto.

3.3 Medición de Respuesta al impulso

El Modulo de medición ubicado en el menú de Procesos permita al usuario del software medir la respuesta al impulso de un recinto mediante dos distintos métodos. Utilizando una fuente impulsiva externa (globos, disparos, etc.) y utilizando barridos senoidales generados por el propio sistema.

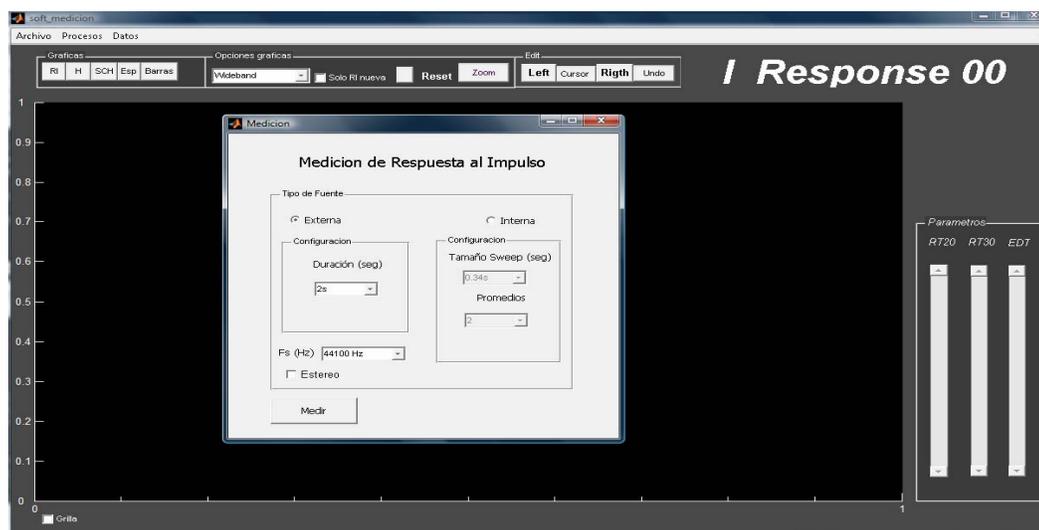


Figura 5. Modulo de medición de respuesta al impulso.

Dependiendo el método utilizado se configuran los parámetros necesarios para cada uno de ellos. Hay que tener en cuenta que en el momento de realizar la medición de la respuesta al

impulso el usuario debe conocer las diferencias metodológicas de la medición in situ, como se planteo en el marco teórico del presente documento.

Si el usuario escogió medición con fuente externa el sistema funciona como un *sampler* en el cual el usuario puede grabar el impulso, si por el contrario el usuario escoge medición con fuente externa el sistema genera y graba un barrido senoidal con el fin de poder calcular la respuesta al impulso del recinto.

Una vez medida o cargada una respuesta en archivo *.wav* el sistema permite realizarle distintos análisis, comenzando con diferentes formas de visualización de la respuesta para que el usuario tenga la información que necesita de ella.

A continuación son presentados los procesos y formas de visualización del sistema. Las distintas opciones de graficación de la repuesta al impulso son las siguientes:

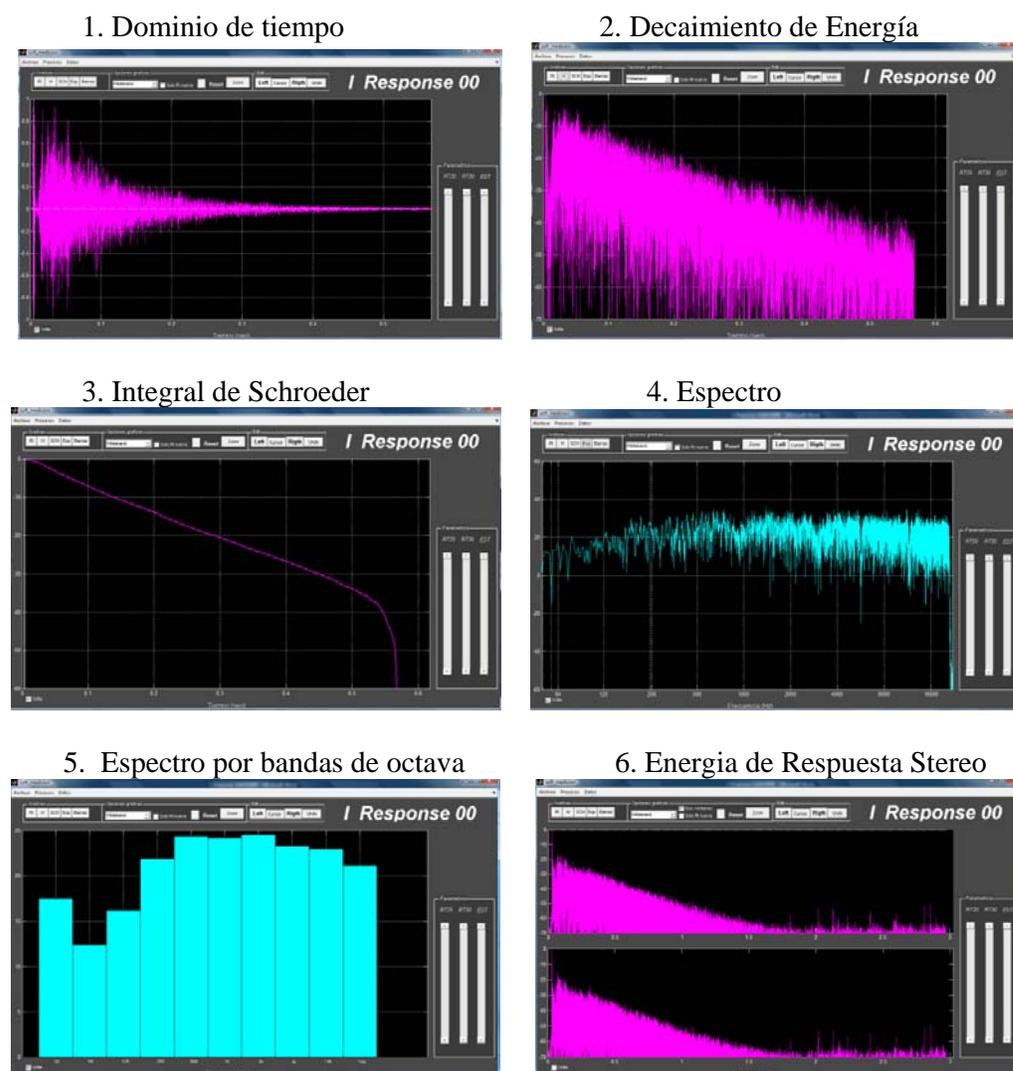


Figura 6. Opciones de visualización.

Las distintas opciones de visualización resultan muy útiles a la hora de realizar un análisis real del comportamiento del recinto.

3.4 Parámetros acústicos

El software *I_Response* calcula para la respuesta al impulso distintos parámetros acústicos básicos. Estos parámetros son: Tiempo de reverberación RT20 y RT30, Early Decay Time (EDT).

En el Menú Datos y Graficación se muestra una ventana en donde se grafican y muestran los valores de los tres parámetros por bandas de octava.

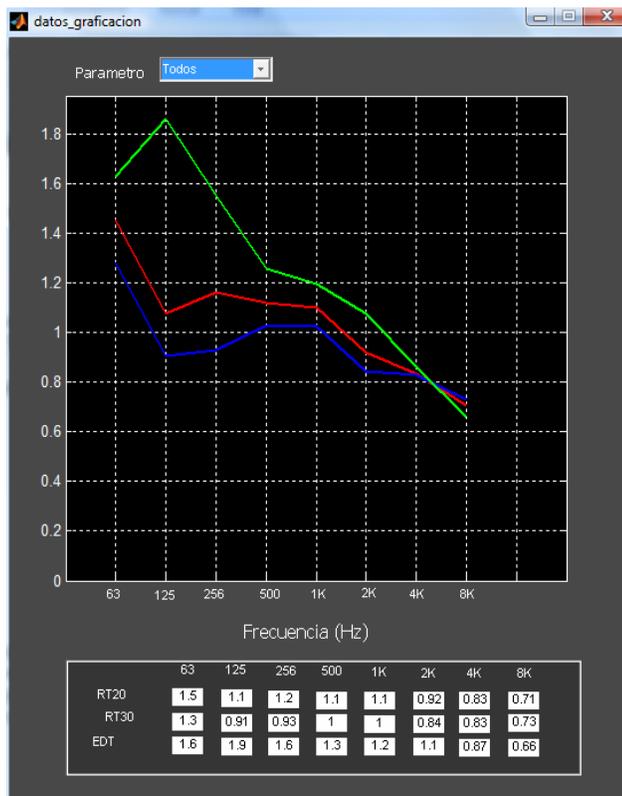


Figura 7. Datos y Graficación.

3.5 Modificación de parámetros acústicos

Una de las ventajas que tiene el software *I_Response* es la posibilidad que brinda al usuario de manipular la respuesta al impulso, permitiéndole modificarla de manera fácil y versátil.

La modificación de parámetros acústicos por banda de octava significa poder controlar la respuesta al impulso en cada una de estas de manera independiente y controlar el tiempo de reverberación en cada una de ellas.

La Figura 8 muestra como se modifica la integral de Schroeder para una respuesta al impulso en la banda de 2 KHz.



Figura 8. Modificación de RT20 en violeta Integral de Schroeder original. En rojo integral de Schroeder modificada.

Se observa claramente como al modificar el Slider de RT20 la integral de Schroeder se modifica cambiando su pendiente, lo que se ve reflejado directamente en un cambio en el tiempo de reverberación de la respuesta en esa banda. La Figura 9 muestra el valor de RT20 de la respuesta original en violeta y la respuesta modificada en rojo. También se pueden observar los datos en la tabla inferior.



Figura 9. Datos de Modificación de RT20.

La posibilidad de modificación de la respuesta al impulso por bandas de octava junto a la función de auralización que tiene el software le permite al usuario tener una herramienta muy útil de simulación de recintos.

3.6 Auralización y Simulación

Una de las mejores funciones que tiene *I_Response* es la posibilidad que le da al usuario de realizar una simulación de distintas fuentes dentro del recinto. Para esto el sistema puede realizar simulaciones entre un archivo de música o habla anecoica, con una respuesta al impulso mono, Estéreo o Binaural con el fin de auralizar el comportamiento del recinto. Esto junto con la modificación de los parámetros da la posibilidad de auralizar posibles cambios realizados en el recinto sin haberlas realizado físicamente, convirtiéndose en una herramienta de mucha utilidad para los ingenieros de sonido y acústicos a la hora de diseñar recintos.

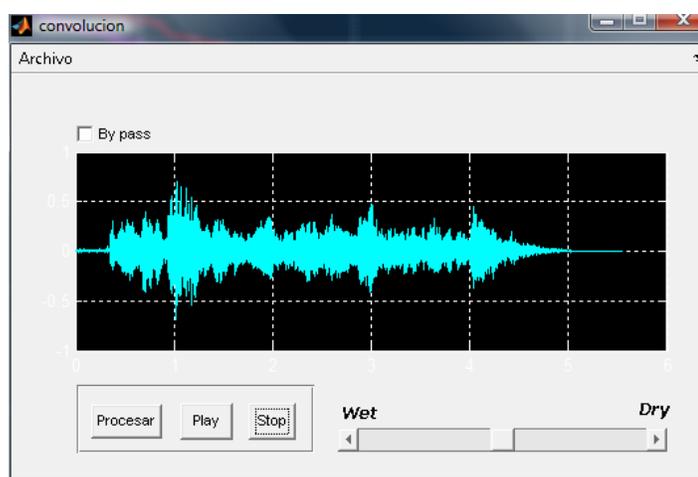


Figura 10. Modulo de Convolución.

3.7 Comparación de datos con software comercial

Para comprobar la precisión del sistema de medición desarrollado, se realiza una medición de tiempo de reverberación en una pequeña capilla de la ciudad de Bogotá siguiendo los lineamientos expuestos por la norma ISO 3382. Para desarrollar dicho procedimiento son utilizados un software comercial y el software *I_Response* bajo las mismas condiciones siendo comparados los datos arrojados por cada herramienta. Así, son realizadas mediciones utilizando tanto una fuente impulsiva como barridos senoidales (los dos métodos de medición de *I_Response*).

A continuación son mostrados gráficamente los resultados de RT30, RT20 y EDT obtenidos con ambos programas (*I_Response* y *Software Comercial*).

Los datos graficados corresponden a los promedios aritméticos de los parámetros acústicos obtenidos en 5 puntos de medición dentro del recinto. En **azul**, el promedio dado por el *Software Comercial* y en **verde** los promedios de los valores obtenidos con *I_Response*

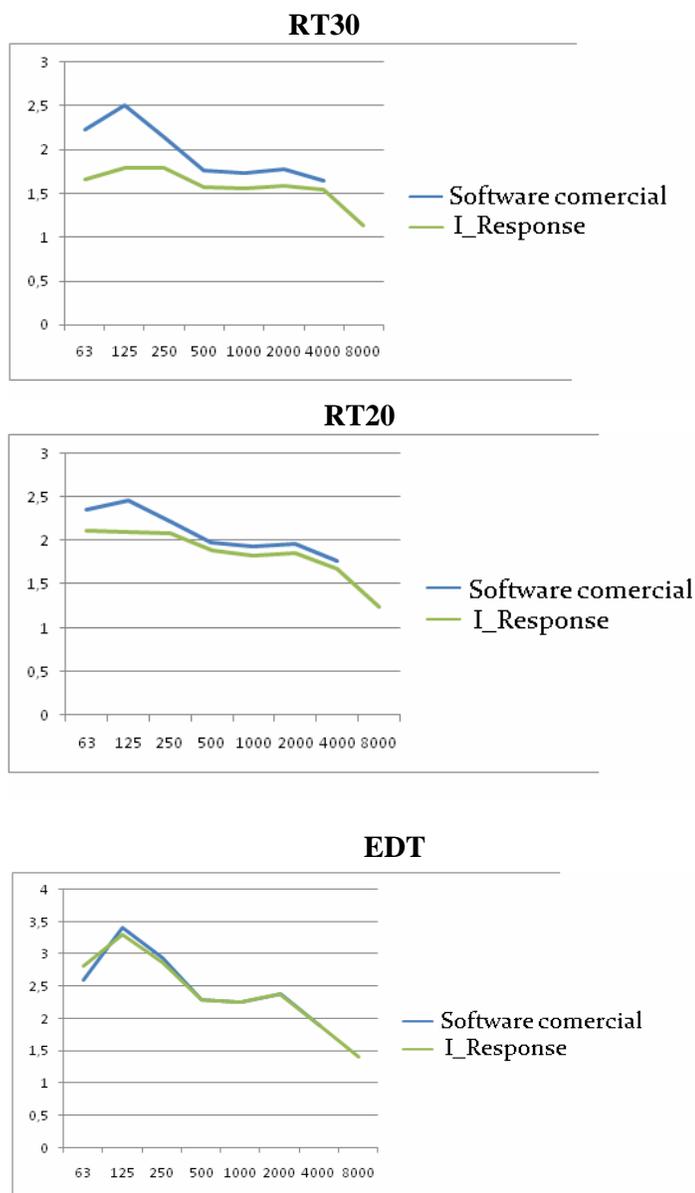


Figura 11. Comparación de datos obtenidos.

4 Conclusiones

- La convolución es una operación fundamental en el proceso de auralización, y de la calidad y eficiencia de los algoritmos que la ejecuten dependerá la rapidez y realismo de las simulaciones acústicas.
- El nivel de realismo de las simulaciones acústicas depende del nivel de detalle con que sea emulada la forma de escucha humana durante la medición de la respuesta al impulso
- Las mayores diferencias en los cálculos se presentaron en frecuencias bajas, se

- piensa que esto es debido a que el ruido de fondo era más alto en esta parte del espectro
- El EDT es el parámetro en el que existe menos diferencias entre los dos programas analizados, seguido por el RT20 y RT30, independientemente del tipo de fuente utilizada, lo que lleva a concluir que entre mayor sea la relación Señal – Ruido necesaria para realizar el cálculo de un parámetro las diferencias entre los programas es más pronunciada

Referencias

- Vorländer, Michael; (2008). “Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality”. Springer, Berlín, Alemania.
- Begault, Durand R; (2000). “3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia”. Ames Research Center , Moffet Field - California, EEUU
- Weitzenfeld, Alfredo, (2004). “Ingeniería de software orientada a objetos”.Thompson Paraninfo S.A
- Cattacoustics (2009). “Room Acoustics: Auralization”. Internet: <http://www.catt.se/>
- Normativa ISO3382 1997, Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.
- Müller, Swen; Massarani,Paulo, Transfer-Function Measurement with Sweeps