

Diseño e implementación de sistema automático de medición de respuesta impulsiva

Sebastián P. Ferreyra*, Juan F. López**, Gabriel A. Cravero***, Ana M. Moreno****
Centro de Investigación y Transferencia en Acústica, CINTRA, Unidad Ejecutora CONICET-UTN
Córdoba, Argentina.

sferreyra@frc.utn.edu.ar
ing.juanfacundolopez@gmail.com
gcravero@frc.utn.edu.ar
amoreno@frc.utn.edu.ar

Resumen— Un dispositivo acústico puede definirse en términos generales como cualquier objeto/sujeto que responde a estímulos acústicos. La respuesta depende de las características del estímulo como también del dispositivo evaluado. Esta definición incluye partículas y sistemas de partículas como por ejemplo objetos, recintos, fuentes sonoras, sensores acústicos, animales y personas, entre otros. Actualmente, en investigaciones científicas y procesos industriales se recurre a variados tipos de ensayos acústicos para medir, analizar e identificar características, fallas y/o parámetros físicos. En este trabajo, se presenta el diseño y desarrollo de un sistema para el estudio de dispositivos acústicos a partir de la medición de la respuesta impulsiva y/o función de transferencia. Está basado en un hardware ad hoc (computador estándar y tarjeta de adquisición/reproducción de sonido) y un software modular, formado por programas básicos y específicos, desarrollado en Matlab. Los resultados de las mediciones realizadas a diversos dispositivos evidencian precisión y exactitud, como también estabilidad y bajo tiempo de ejecución para los algoritmos utilizados en el cálculo de diversos descriptores como curva energía-tiempo y espectrogramas, lo cual es relevante para un sistema de bajo costo, simple instalación y utilización.

Palabras clave— Dispositivo acústico, mediciones acústicas automáticas, respuesta impulsiva, función de transferencia.

Abstract— An acoustic device can be broadly defined as any object/subject that responds to acoustic stimuli. The response

depends on the characteristics of the stimulus as well as the device evaluated. This definition includes particles and particle systems, such as objects, enclosures, sound sources, acoustic sensors, animals and people, among others. Currently, in scientific research and industrial processes, various types of acoustic tests are used to measure, analyze and identify characteristics, faults and/or physical parameters. In this work, the design and development of a system for the study of acoustic devices from the measurement of the impulse response and/or transfer function is presented. It is based on ad hoc hardware (standard computer and sound acquisition/reproduction card) and modular software, made up of basic and specific programs, developed in Matlab. The results of the measurements made to various devices show precision and accuracy, as well as stability and low execution time for the algorithms used in the calculation of various descriptors such as energy-time curves and spectrograms, which is relevant for a low-cost system, simple installation and use.

Keywords— Acoustic device, automatic acoustic measurements, impulse response, transfer function.

I. INTRODUCCIÓN

Un dispositivo acústico puede definirse en términos generales como cualquier objeto/sujeto que responde a estímulos acústicos. La respuesta depende de las características del estímulo como también del dispositivo evaluado. Esta definición incluye partículas y sistemas de partículas como por ejemplo objetos, recintos, células, animales, personas, entre otros. Actualmente, tanto en actividades científicas como industriales se recurre a diversos tipos de ensayos acústicos para medir, analizar e identificar características, fallas y/o parámetros físicos. Una gran variedad de dispositivos acústicos pueden modelarse como sistemas lineales e invariantes en el tiempo (LTI), mientras que otros se modelan como sistemas no lineales (Li and Cox, 2019). En este trabajo abordamos exclusivamente el análisis y estudio de aquellos que pertenecen al primer grupo. Dichos

* S. P. Ferreyra trabaja en el Centro de Investigación y Transferencia en Acústica, CINTRA. Unidad Ejecutora CONICET-UTN, en Depto. Ingeniería Electrónica y Depto. Materias Básicas, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional. Maestro López esq. Cruz Roja Argentina, Córdoba, Argentina. (email: acustica@frc.utn.edu.ar).

** J. F. López trabaja en el CINTRA, CONICET-UTN

*** G.A. Cravero trabaja en el Centro de Investigación y Transferencia en Acústica, CINTRA, CONICET-UTN y en Depto. Materias Básicas, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional.

**** A. M. Moreno trabaja en CINTRA, CONICET-UTN y en Depto. Ingeniería Electrónica, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional.

dispositivos se caracterizan por su Respuesta Impulsiva (RI) y Función de Transferencia (FT), siendo ambas dependientes de la posición de la fuente y del receptor utilizados en la medición, como por ejemplo respuestas impulsivas de recintos (RIR), respuestas impulsivas relativas a cabeza y torso humano (HRIR) y respuestas impulsivas de objetos sólidos estimulados por impacto con martillos electrónicos y midiendo la respuesta con acelerómetros ó micrófonos (Adriaensen, 2006). La medición de diversas características de un dispositivo acústico requiere la utilización de equipos, instrumentos, instalaciones y operadores que conforman el sistema de medición. Generalmente, la medición de la RI se efectúa con instrumentos que emplean plataformas tecnológicas específicas y costosas en función de las características del dispositivo evaluado, por lo cual su adaptación para ser aplicado a otro tipo de dispositivo acústico resulta compleja y muchas veces inviable (Peltonen et al, 2001).

Actualmente, la medición de la RI se realiza por métodos directos e indirectos (Stan et al, 2002). Los primeros utilizan señales de excitación de carácter impulsivo como ráfagas de ruido y disparos de pistola, mientras que los segundos, aplican señales determinísticas como barridos sinusoidales de frecuencia (“sine-sweeps”) y secuencias binarias de máxima longitud (MLS). En ambos casos por lo general, la medición se lleva a cabo de manera manual. Por ejemplo, en el campo de la electroacústica, la medición de la RI es vital para analizar y evaluar las prestaciones de transductores, tales como micrófonos y altavoces que pueden ser modelados como sistemas LTI bajo condiciones de funcionamiento específicas (Tylka et al, 2015). Una vez medida la RI, independientemente del método utilizado, se realiza el postprocesamiento específico sobre la señal tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia, para extraer información relevante para su análisis, el cual por lo general, involucra aspectos energéticos, temporales, estadísticos, espectrales, entre otros (Li and Cox, 2019).

En este trabajo, se presenta el diseño y desarrollo de un sistema para el estudio de dispositivos acústicos a partir de la medición de la respuesta impulsiva y/o función de transferencia denominado “SAMRI” (Sistema Automático de Medición de Respuesta Impulsiva), acrónimo de su nombre en español. El cual, está basado en un hardware ad hoc (computador estándar y tarjeta de adquisición/reproducción de sonido) y un software modular, formado por programas básicos y específicos (desarrollado en Matlab). Los resultados de las mediciones realizadas a diversos dispositivos evidencian precisión y exactitud, como también estabilidad y bajo tiempo ejecución para los algoritmos utilizados en el cálculo de diversos descriptores como curva energía-tiempo y espectrogramas, lo cual es relevante para un sistema de bajo costo, simple instalación y utilización.

El desarrollo tecnológico aquí presentado, se enmarca en el proyecto de investigación, desarrollo e innovación tecnológica SAMDA (Sistema Automático de Medición de Dispositivos Acústicos), por su acrónimo en español, en ejecución en el CINTRA, CONICET-UTN (PIDs UTN N° 4081 y 7838) el cual tiene por objetivo general diseñar y desarrollar una plataforma tecnológica escalable, modular, basada en arquitectura de propósito general, que permite la

implementación de innovaciones tecnológicas de bajo costo para satisfacer diversas necesidades y requerimientos en procesos industriales, metrológicos, científicos y educativos. El hardware (SAMHard) del sistema combina elementos tipo ad hoc y comerciales, mientras que el software (SAMSoft) programas básicos y específicos desarrollados con diversos herramientas/lenguajes de programación (Python, C, C++, Matlab) que pueden reutilizarse para crear aplicaciones específicas que brinden soluciones de bajo costo en función de las necesidades/requerimientos planteados (Ferreira et al, 2018). A través de sus aplicaciones específicas, el SAMDA, mide, analiza y evalúa diversos parámetros/características de dispositivos acústicos tales como respuesta impulsiva, función de transferencia, niveles sonoros, potencia acústica, directividad, sensibilidad, absorción, reflexión y difusión sonora, detección de fallas, entre otros, estado algunas de estas aplicaciones en actual fase de investigación y desarrollo.

II. SAMRI

Como se menciona anteriormente el Sistema Automático de Medición de Respuesta Impulsiva (versión 1.0) básicamente está compuesto por:

- Computador estándar con S.O. Windows (7 o superior, 64 bits)
- Tarjeta de adquisición/reproducción de sonido dependiendo del dispositivo acústico a evaluar (ej: 16 bits, 44 100 Hz para el rango audible)
- Transductores electroacústicos varios (micrófonos, altavoces, acelerómetros, martillos electrónicos, hidrófonos)
- Software modular (SAMRI v1.0), formado por programas básicos y específicos (desarrollado en Matlab).

Dependiendo de las características del dispositivo acústico a evaluar pueden adicionarse otros componentes específicos como:

- Plataformas rotativas.
- Unidades de control.
- Unidades de potencia.
- Sistemas de altavoces radiales.
- Sensores de posición 3D.
- Mesas de vibración (shakers).
- Scanner 3D.
- Cámaras termográficas.
- Levitadores acústicos.
- Sensores y emisores ultrasónicos.

A modo de ejemplo en la Fig. 1 se muestra el diagrama de bloques del Sistema Automático de Medición de Directividad (denominado SAMDIR, por su sigla en español) el cual integra algunas funciones del SAMRI con otros componentes y algoritmos específicos para el estudio de la directividad de altavoces y micrófonos (Moreno et al, 2016). En la Fig. 2 se

muestra una fotografía de dicho sistema instalado en cámara acústica en el CINTRA durante los ensayos. En este sistema las mediciones se realizan de manera automática según la configuración realizada por el usuario con una resolución angular de $1,0^\circ \pm 0,5^\circ$ (Ferreya et al, 2019).

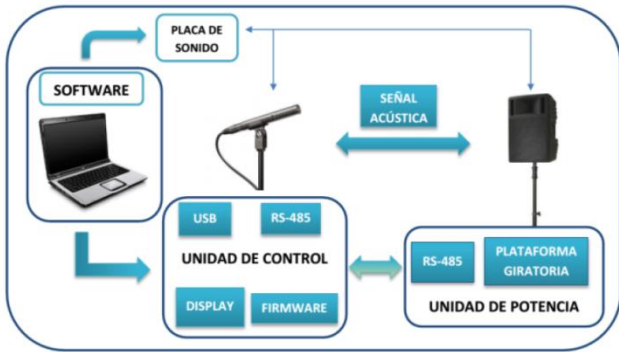


Fig. 1. Diagrama de bloque del SAMDIR.



Fig. 2. Fotografía del prototipo del SAMDIR en cámara acústica del CINTRA.

A. Arquitectura de software

El Modelo Vista Controlador (MVC) es un patrón de arquitectura de software que separa en tres capas la funcionalidad de una aplicación. En la Fig. 3 se muestra un esquema que especifica la interacción entre las capas. El *modelo* se encarga de los datos y el procesamiento de los mismos, el *controlador* gestiona las órdenes del usuario y se encarga de solicitar los datos al modelo y de comunicárselos a la *vista*. La *vista* es la representación visual de los datos (interfaz gráfica).

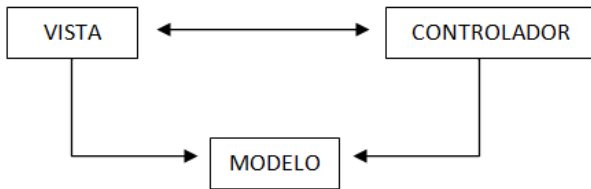


Fig. 3. Esquema básico de interacción MVC.

Este esquema permite realizar actualizaciones y modificaciones sin afectar otra parte del código y fundamentalmente el modelo se encuentra completamente

separado de la interfaz de usuario y no tiene conocimiento de la vista, ni del controlador por lo tanto no posee ninguna referencia a estos. Es importante la independencia en los códigos ya que se puede reemplazar el modelo, la vista o el controlador, lo cual permite que cada elemento del programa pueda ser diseñado por separado. En la Fig. 4 se muestra la arquitectura MVC en su forma más general, en la que existe un solo modelo. Múltiples controladores manipulan el modelo y múltiples vistas visualizan los datos del modelo.

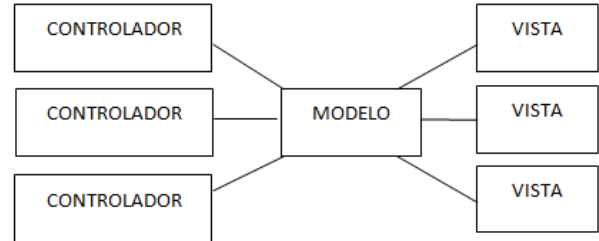


Fig. 4. Esquema genérico de interacción MVC.

El programa agrupa *funciones* y *clases* que permiten realizar cálculos, procesamiento de señales y manejo del hardware las cuales se agrupan en *módulos básicos*. Las funciones y clases que dan lugar a diferentes aplicaciones avanzadas se agrupan en *módulos específicos*. En la Fig. 5 se muestra la ventana principal de configuración de medición.

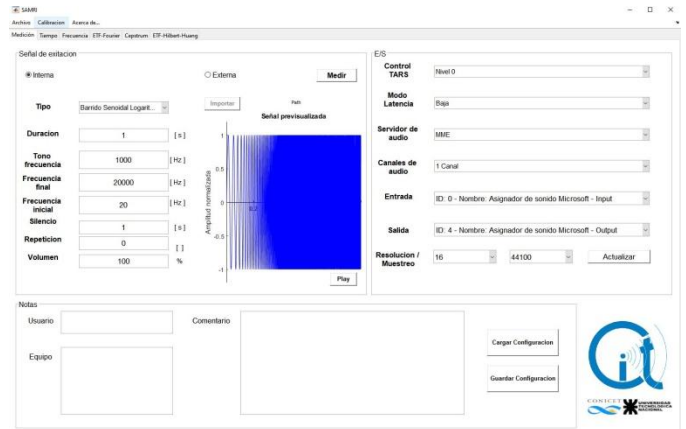


Fig. 5. Imagen de la ventana principal para configuración de medición de SAMRI.

B. Medición de RI

Para medir la respuesta al impulso el programa utiliza técnicas directas (impulsos y ráfagas de ruido de banda angosta) e indirectas (barridos sinusoidales y ruido pseudoaleatorio). La técnica indirecta implementada basada en la deconvolución de señales determinísticas posee la ventaja de obtener la respuesta al impulso del sistema separando los efectos no lineales del mismo, mediante la aplicación de una señal de barrido senoidal de variación exponencial como excitación y su correspondiente filtro inverso (Farina, 2000). Así, es posible eliminar las distorsiones mediante filtrado con ventanas temporales adecuadas. En la Fig. 6 se muestra una imagen de la ventana de visualización de la señal de excitación, para el caso de un barrido sinusoidal de variación exponencial, de 20 Hz a 20 000 Hz; en la Fig. 7, la imagen el

filtro inverso correspondiente a la señal de excitación; en la Fig. 8 imagen de la ventana de visualización de la señal respuesta a la excitación, siendo el dispositivo bajo estudio una tarjeta de adquisición de sonido; mientras que en la Fig. 9 imagen de la ventana de visualización de la respuesta impulsiva medida.

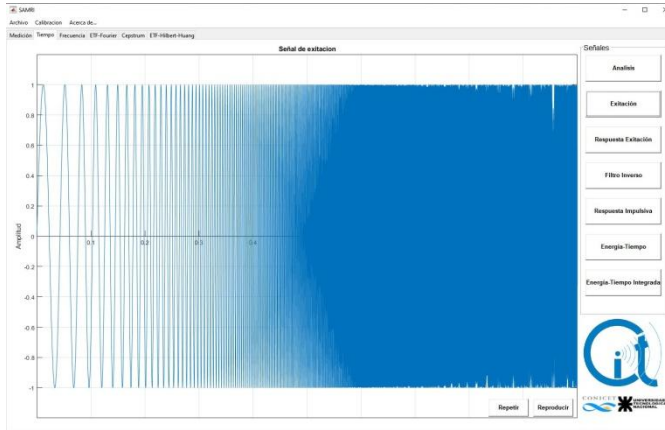


Fig. 6. Imagen de la ventana de visualización de la señal de excitación (barrido sinusoidal de variación exponencial de 20 Hz a 20 000 Hz).

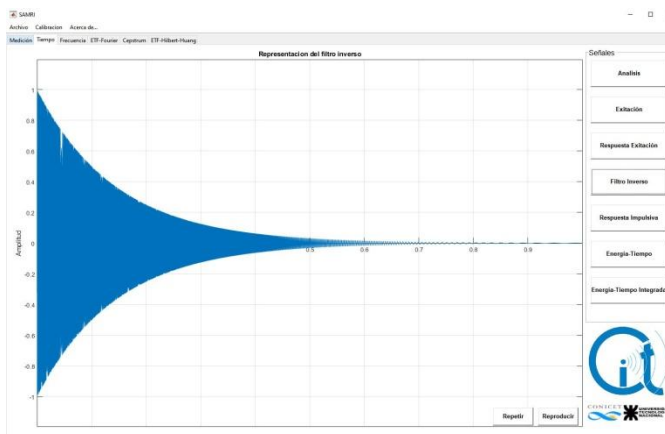


Fig. 7. Imagen de la ventana de visualización del filtro inverso correspondiente a la señal de barrido sinusoidal de variación exponencial.

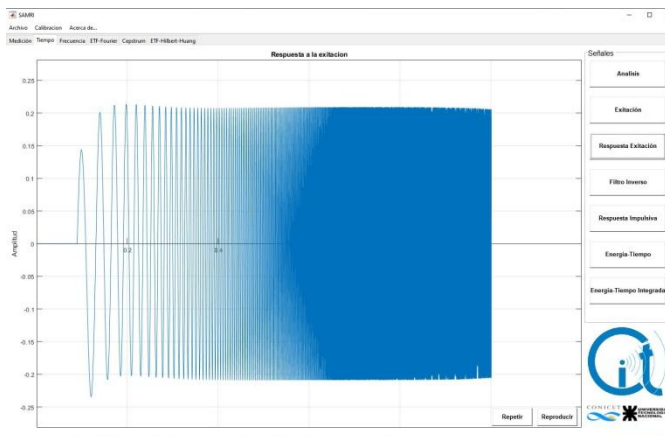


Fig. 8. Imagen de la ventana de visualización de la señal respuesta a la excitación (para el barrido sinusoidal de variación exponencial, de 20 Hz a 20 000 Hz), aplicado a una tarjeta de adquisición de sonido.

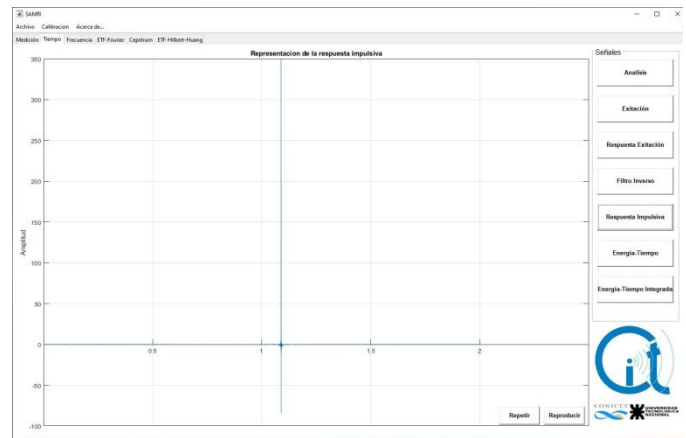


Fig. 9. Imagen de la ventana de visualización de la respuesta impulsiva medida.

C. Análisis espectral

El análisis espectral se realiza mediante transformada rápida de Fourier parametrizable por el usuario, además la aplicación tiene capacidad para generar distintos tipos de filtros espectrales de orden variable, tanto en bandas de octava como en tercio de octava. Por defecto, los filtros utilizados son de tipo Butterworth y de 6^o orden, cumpliendo con las especificaciones de la norma internacional IEC 61260:2014.

En la Fig. 10 se muestra una imagen de la ventana principal del análisis en frecuencia por FFT de la señal de excitación para un barrido sinusoidal de variación exponencial. Por otra parte, la aplicación permite analizar la densidad espectral de potencia (PSD) de una señal, como se observa en la Fig. 11 para la misma señal analizada.

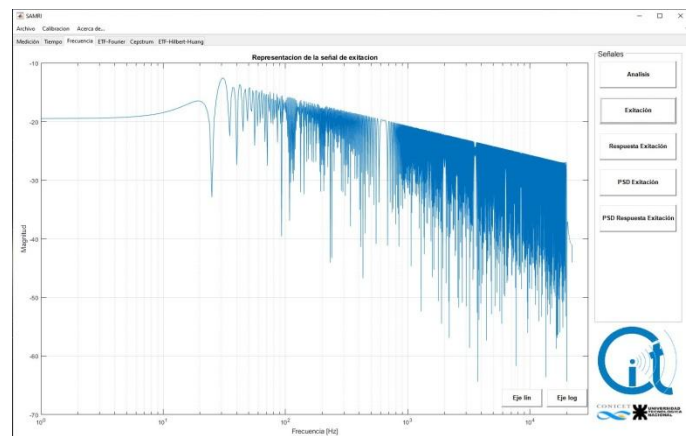


Fig. 10. Imagen de la ventana principal del análisis en frecuencia por FFT de la señal de excitación para un barrido sinusoidal de variación exponencial.

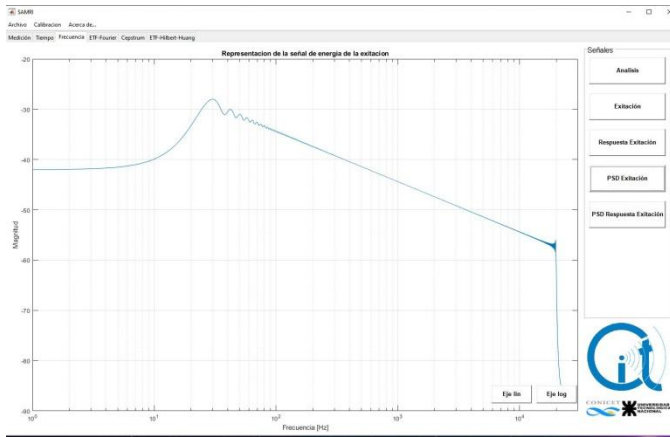


Fig. 11. Imagen de la ventana principal del análisis en frecuencia por PSD de la señal de excitación para un barrido sinusoidal de variación exponencial.

En la Fig. 12 se muestra una imagen de la ventana principal del análisis en frecuencia para donde se ilustra la magnitud y fase de las señales seleccionadas para su comparación simultánea y como también aplicando filtrado espectral normalizado.

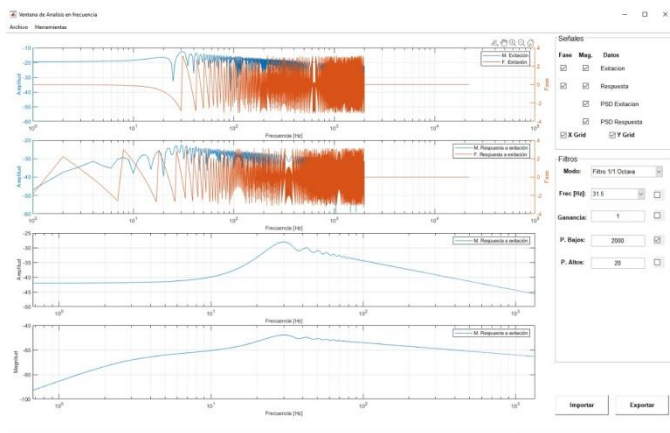


Fig. 12. Imagen de la ventana de visualización del análisis en frecuencia. Desde arriba hacia abajo: 1) señal de excitación, Magnitud (rojo); 2) señal de respuesta a la excitación, Magnitud (azul), Fase (rojo); 3) señal de excitación filtrada (filtro 1/1 oct., freq. central 31,5 Hz); 4) señal de respuesta a la excitación filtrada (filtro 1/1 oct., freq. central 31,5 Hz).

D. Análisis de Energía-Tiempo-Frecuencia

El análisis de energía-tiempo-frecuencia (ETF) ú espectrograma, puede realizarse de dos maneras en la aplicación en función de la señal evaluada:

- mediante la aplicación de la transformada rápida de Fourier (FFT), como se observa en la Fig. 13 representación tridimensional para una señal de excitación tipo barrido sinusoidal de variación exponencial; además es posible, como se muestra en la Fig. 14 realizar una comparación del análisis ETF por FFT de múltiples señales en simultaneo (tres señales; arriba “excitación”, al medio “respuesta a la excitación” y abajo “respuesta impulsiva”) en representación bidimensional.

- mediante la aplicación de la transformada de Hilbert-Huang (HHT), como se muestra en la Fig. 15 en representación tridimensional y en la Fig. 16 una comparación del análisis ETF por HHT de múltiples señales en simultaneo (tres señales; arriba: excitación; al medio: respuesta a la excitación; abajo: respuesta impulsiva) en representación bidimensional.

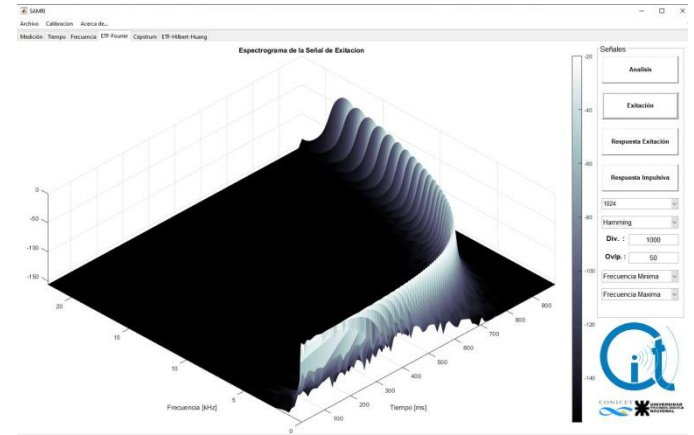


Fig. 13. Imagen de la ventana de visualización del análisis ETF por FFT. Representación tridimensional, para una señal de excitación tipo barrido sinusoidal de variación exponencial.

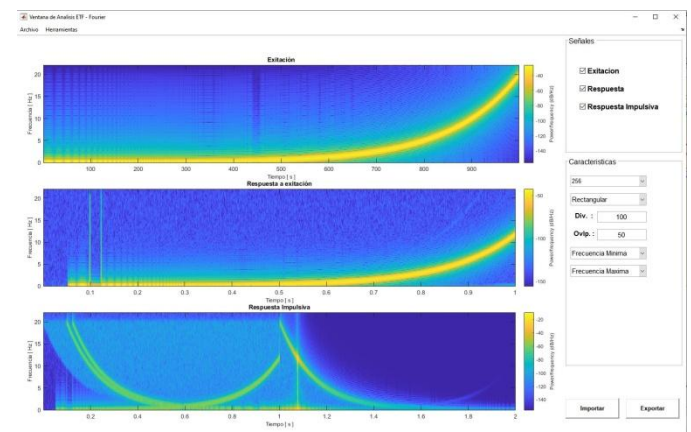


Fig. 14. Imagen de la ventana de visualización para comparación del análisis ETF por FFT de tres señales. Arriba: señal de excitación; al medio: señal de respuesta a la excitación; abajo: respuesta impulsiva; representación bidimensional.

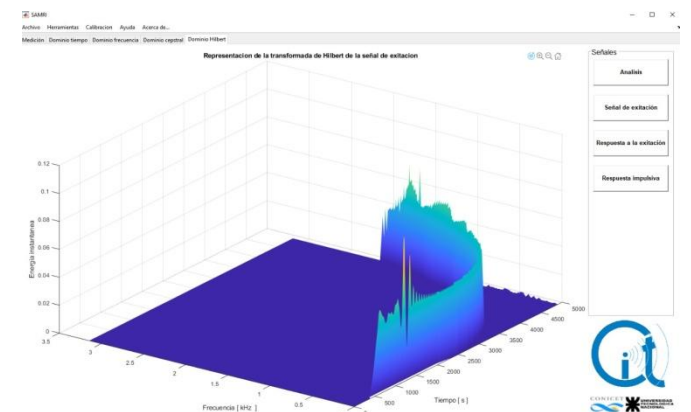


Fig. 15. Imagen de la ventana de visualización del análisis ETF por HHT para la señal de excitación barrido sinusoidal de variación exponencial de 20 Hz a 20 000 Hz; representación tridimensional.

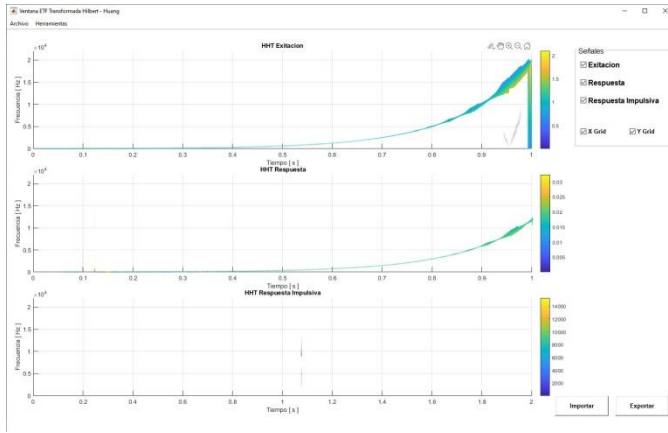


Fig. 16. Imagen de la ventana de visualización para comparación del análisis ETF por HHT de tres señales (excitación, respuesta a la excitación y respuesta impulsiva), representación bidimensional.

E. Análisis cepstral

La aplicación además tiene la capacidad de realizar el análisis cepstral de cualquier señal seleccionada. El proceso para calcular el cepstrum es: $FT \rightarrow \log \rightarrow IFT$, es decir, primero calcular la transformada de Fourier, luego obtener el logaritmo del resultado y finalmente calcular la transformada de Fourier inversa. De esta forma el *cepstrum* es el resultado de la transformada inversa de Fourier del logaritmo del espectro. La variable independiente en el gráfico de cepstrum se denomina *quefrecny*, la cual es una medida de tiempo pero no tiene sentido en el dominio temporal. En la Fig. 17 se muestra una imagen de la ventana principal del análisis cepstral. Algunas aplicaciones en acústica del análisis cepstral son la detección de coloraciones en recintos (Rindel, 2016), la estimación a ciegas de la función de transferencia de un recinto (Tomczyszyn, 2014), detección de patologías de la voz como disfonías (Delgado-Hernández et al, 2018), entre otras.

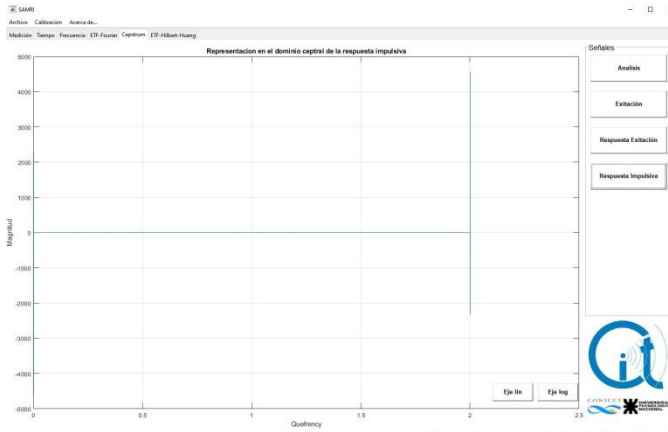


Fig. 17. Imagen de la ventana de visualización del análisis cepstral, para la señal respuesta impulsiva medida.

III. RESULTADOS

A efectos de realizar la validación del modulo de medición de RI del sistema desarrollado, se efectuaron mediciones con SAMRI v1.0, las que se contrastaron con los resultados obtenidos con B&K 7841 (Dirac v3.0) y Aurora v4.0 (plug-in

de Adobe Audition), utilizando idéntica cadena de instrumental de medición (Ferreya et al, 2016). Se utilizó la tarjeta de adquisición de sonido integrada del computador personal Sony Vaio SVE14126PLB, procesador Intel i5-3210, 2.5 GHz, 6 GB de RAM, con sistema operativo Windows 8.1 Pro. Para medir la RI del sistema de medición la entrada de línea fue conectada con la salida de audio mediante un cable de 1 m de longitud. La RI del sistema de medición fue obtenida mediante técnica indirecta (deconvolución de señales determinísticas), excitando el sistema siempre con una señal de barrido senoidal de variación exponencial, para el rango de frecuencia comprendido de 22 Hz a 22 kHz, duración 2,73 s, filtro temporal Hanning de 0,1 s en ambos extremos del barrido, frecuencia de muestreo 48 kHz. Las respuestas impulsivas medidas con los programas de aplicación mencionados anteriormente fueron registradas en archivos extensión .wav, con una frecuencia de muestreo de 48 kHz y 16 bits de resolución. Posteriormente, se cargaron los archivos en el programa B&K 7841 y se calculó la relación señal/ruido (SNR) por bandas de tercio de octava para cada RI medida. En la Fig. 18 se observa que la RI obtenida con B&K 7841 (Dirac) posee una SNR promedio de 59 dB, aunque ésta es menor que 36 dB para las bandas de frecuencia de 31,5 Hz, 40 Hz, 50 Hz y 63 Hz. La RI obtenida con Aurora posee una SNR promedio de 43 dB, siendo menor que 36 dB en las bandas de frecuencia de 25 Hz, 31,5 Hz y 40 Hz. Mientras que, la RI medida con SAMRI v1.0 tiene un valor promedio de 55 dB, con valores mayores a 44 dB para el espectro de frecuencias comprendido entre las bandas de 50 Hz a 20 kHz y valores superiores a 65 dB para el espectro de frecuencias comprendido entre las bandas de 3,15 kHz a 16 kHz.

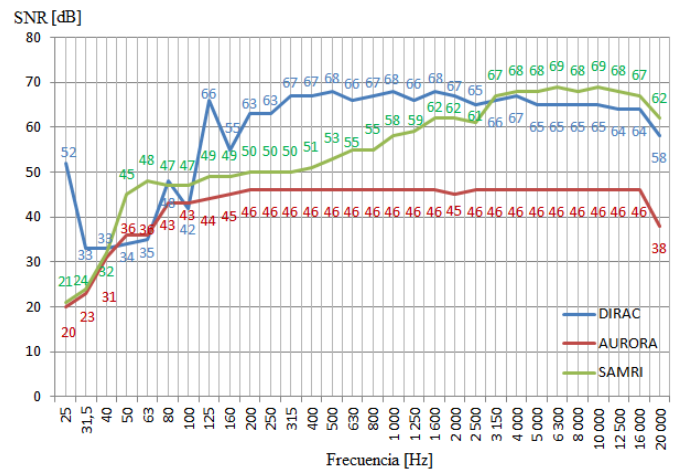


Fig. 18. Comparación de valores de SNR por bandas de tercio de octava de las RI medidas en idénticas condiciones con tres software de aplicación.

Otro análisis relevante es el tiempo de ejecución en una medición. Para estimar dicho tiempo, se recurrió a las funciones *tic / toc* de Matlab. Utilizando una señal de 10,92 s (524 288 muestras para 48 kHz de frecuencia de muestreo), se obtuvieron los siguientes valores:

- La medición de la RI de un sistema (que comprende generación de la señal, filtrado temporal, generación del

filtro inverso, registro y deconvolución) se realiza en $13,6 \text{ s} \pm 0,1 \text{ s}$ de duración.

- b) El filtrado y cálculo de potencia por bandas de tercio de octava se ejecuta en $4,2 \text{ s} \pm 0,1 \text{ s}$ de duración.

IV. CONCLUSIONES

Se desarrolló una potente aplicación original e innovadora, modular, automática, escalable basada en arquitectura de propósito general que puede utilizarse para estudiar diversos tipos de dispositivos acústicos.

Las validaciones realizadas del sistema desarrollado al evaluar la SNR son satisfactorias comparadas con los valores obtenidos con otros sistemas comerciales. El sistema evidenció bajos tiempos de ejecución en las mediciones de RI ($13,6 \text{ s} \pm 0,1 \text{ s}$) y cálculo de potencia por bandas de tercio de octava ($4,2 \text{ s} \pm 0,1 \text{ s}$) para los ensayos realizados.

V. REFERENCIAS

- Adriaensen, F. (2006) *Acoustical impulse response measurement with ALIKI*. In Linux Audio Conference Proceedings (p. 9). 27 -30 April, Karlsruhe, Germany.
- Delgado-Hernández J., León-Gómez N.M., Izquierdo-Arteaga L.M., Llanos-Fumero Y. *Análisis cepstral de la voz normal y patológica en adultos españoles. Medida de la prominencia del pico cepstral suavizado en vocales sostenidas versus habla conectada*. Acta Otorrinolaringológica (English Edition), Volume 69, Issue 3, May-June 2018, Pages 134-140. <https://doi.org/10.1016/j.otorri.2017.05.006>
- Farina, A. (2000). *Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique*. In Audio Engineering Society Convention 108th, Audio Engineering Society.
- Ferreira S.P., Moreno A.M., Morales J. I., Tommasini F.C., Budde L., Novillo D., Cravero G.A, Longoni H.C., López F (2018). *SAMSoft: acoustical devices automatic measurement system software*. Journal of Proceedings of Meeting on Acoustics. Vol 28, Issue 1, 0015024, pp1-5, Acoustical Society of America. ISSN 1939-800X. DOI: 10.1121/2.0000776. View on line: <http://dx.doi.org/10.1121/2.0000776>.
- Ferreira S.P., Moreno A.M., Morales J.I., Lopez J.F., Simes J.Y., Gelerstein Moreyra S. I., Cravero G.A., Tommasini F.C., Longoni H.C., Gilberto L. G., Ramos O.A. (2016). *Validación de programa para la medición de sistemas acústicos lineales invariantes en el tiempo*. Mecánica Computacional, Vol 34, 7, 361-370. Editorial Asociación Argentina de Mecánica Computacional. ISSN: 1666-6070. ISSN electrónico: 2591-3522.
- Ferreira S.P, López J.F., Moreno A.M., Bertinatti A.J.P., Vicente F., Cravero G.A., Novillo D.A., Lopensino J. (2019). *Validación de desplazamiento angular de plataforma rotativa utilizada en sistema automático de medición de dispositivos acústicos*. V Jornadas de Acústica, Audio y Sonido (JAAS 2019). Universidad Nacional de Tres de Febrero, UNTreF. 29 y 30 de Agosto. Buenos Aires, Argentina.
- IEC 61260-1:2014. *Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave-band filters - Part 1: Specification*
- Li, F. and Cox, T. (2019). *Digital signal processing in audio and acoustical engineering*. CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Moreno A.M., Ferreira S.P., Morales J.I., Lopez J.F., Simes J.Y., Gelerstein Moreyra S.I., Cravero G.A., Tommasini F. C., Longoni H.C., Gilberto L.G., (2016), *Proceso computacional para la obtención de descriptores de la directividad de transductores electroacústicos*. Mecánica Computacional, Vol 34, 7, 393-409. Editorial: Asociación Argentina de Mecánica Computacional. ISSN: 1666-6070. ISSN electrónico: 2591-3522
- Peltonen T., Lukki T., Gouatarbes B., Merimaa J., Karjalainen (2001). *A system for multi-channel and binaural room response measurements*. In Audio Engineering Society Convention 110th, Amsterdam, The Netherlands, May 12-15.
- Rindel J. H. (2016). *Detection of colouration in room by use of cepstrum technique*. DAGA 2016, 42th Annual German Congress on Acoustics. Mar 14-16. Aachen, Germany.
- Stan, G. B., Embrechts, J. J., & Archambeau, D. (2002) *Comparison of different impulse response measurement techniques*. Journal of the Audio Engineering Society, 50 (4), 249-262.
- Tomczyszyn T., Cauchi B., Gerlach S., Goetze S. *Room transfer function estimation using cepstral smoothing*. DAGA 2014. 40th Annual German Congress on Acoustics. Mar 10-14. Oldenburg. Germany.
- Tylka, J. G., Sridhar, R., & Choueiri, E. A (2015). *Database of Loudspeaker Polar Radiation Measurements*. In Audio Engineering Society Convention 139th, New York, USA, Oct 29 - Nov 1.