



Desarrollo de software para el cálculo de parámetros acústicos ISO 3382

Galván, Agustín¹, Roman, Juan Manuel², Epullan, Calquin Facundo³

Señales y Sistemas, Ingeniería de sonido

Universidad Nacional de Tres de Febrero, Buenos Aires, Argentina.

¹ agusgalvan1098@gmail.com, ² juanmanuelroman1991@gmail.com, ³ calco.epu@gmail.com,

Resumen

El presente informe propone la creación de un software modular que permita calcular los parámetros acústicos definidos en la normativa ISO 3382 (UNE-EN ISO 3382, 2010). A tal fin, se optó por el desarrollo de diversas funciones utilizando MATLAB. Se contrastaron los resultados del software desarrollado con los obtenidos en el software Aurora. Las respuestas impulsivas calculadas dieron resultados similares mientras que las calculadas mediante el método de deconvolución con barrido inverso arrojan resultados muy alejados de los obtenidos con el software comercial.

Keywords: ISO 3382, RI, Sine Sweep, FI

1. Introducción

En las siguientes secciones se detalla el desarrollo funcional de un software diseñado en MATLAB cuya finalidad es la evaluación de los parámetros acústicos de un recinto cualquiera según la normativa ISO 3382 (UNE-EN ISO 3382, 2010). Los mismos pueden ser determinados a partir de respuestas impulsivas previamente adquiridas (grabación de un sonido impulsivo en el recinto de estudio); el método de ruido interrumpido con audio de Ruido Rosa; a partir de la técnica de barrido de frecuencias propuesta por Farina A. (Swept-sine technique) [4]. Para lograr esta última técnica el software tiene la capacidad de generar, reproducir y grabar en simultáneo un barrido sinusoidal logarítmico de duración y rangos determinados por el usuario. También permite el correspondiente procesamiento de las señales y la determinación de los parámetros acústicos.

2. Marco teórico

A continuación se presentan los conceptos teóricos aplicados al código

2.1. Ruido Rosa



Es un sonido aleatorio que tiene el mismo nivel energético por banda de octava y posee una

densidad espectral que es proporcional a la inversa de la frecuencia, lo que implica una caída de 3dB por octava a medida que la frecuencia aumenta. La figura 1 muestra el espectro que posee el ruido rosa.

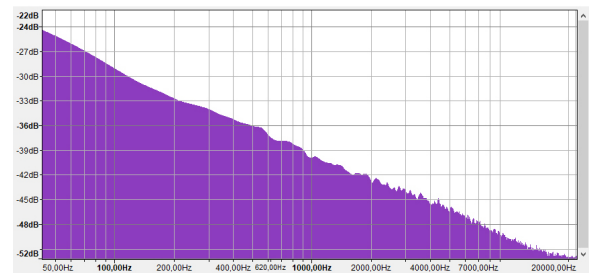


Figura 1: Espectro del Ruido Rosa, cuya abscisa es frecuencia medida en Hz y su ordenada es dB_{FS}

Se utiliza este ruido específico para ajustar los equipos a utilizar en las grabaciones.

2.2. Sine Sweep y Filtro Inverso



El sine-sweep es un barrido de frecuencias y tiene la característica de excitar sólo una frecuencia a la vez a diferencia de otras señales impulsivas, las cuales excitan todas las frecuencias en simultáneo. Esta característica del sine-sweep permite concentrar toda la energía en un ancho de banda muy estrecho.

El filtro inverso es el resultado de aplicar ciertos ajustes al sine-sweep, en donde se variará su modulación para obtener una pendiente espectral inversa a la del sine-sweep, la cual decrece a una razón de 3dB/Oct.

Las ecuaciones que describen tanto el barrido en frecuencias como al filtro inverso son las planteadas en el paper de referencia [6].

2.3. Respuesta al Impulso

Los sistemas LTI se pueden caracterizar a través de su respuesta al impulso. Para el caso particular de un recinto entendido como un sistema, esta respuesta se traducirá en la evolución en el tiempo de la presión sonora luego de realizado el estímulo. Se entiende como impulso a la función delta de Dirac. Si bien la función de Dirac no es reproducible físicamente, existen diversos métodos para aproximarla. Uno de ellos es el uso de un sine sweep logarítmico ya que, en general, los otros métodos como un aplauso o explosión de globo, tienen problemas de reproducibilidad. Una señal sine-sweep $x(t)$ convolucionada con una respuesta al impulso $h(t)$ dará como resultado una señal $y(t)$:

$$y(t) = x(t) * h(t) \quad (1)$$

Si se aplica la transformada de Fourier a esta convolución se obtiene:

$$x(t) * h(t) = X(jw)H(jw) \quad (2)$$

De esta forma es posible despejar la respuesta de impulso en el dominio frecuencial.

$$\frac{Y(jw)}{X(jw)} = H(jw) \quad (3)$$

Al aplicar la anti transformada de Fourier regresamos al dominio temporal [4].

$$F^{-1}[H(jw)] = h(t) \quad (4)$$

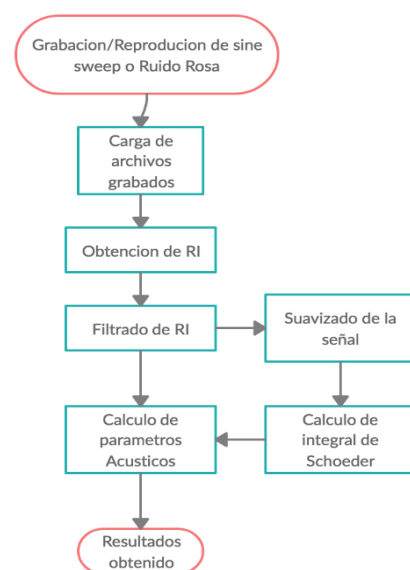
2.4. Suavizado de la señal

La correcta estimación de los parámetros acústicos no será posible de obtener a no ser que la señal evaluada sea suavizada. Para ello, se aplica sobre el impulso filtrado por bandas, un suavizado conocido como Transformada de Hilbert. Cuando se aplica el módulo de esta transformación (valor absoluto de la señal transformada) se obtiene la envolvente de la señal. A este resultado se le aplica un filtro de media móvil para obtener así un mayor suavizado para el cálculo de la integral de Schoeder, tomando

como límites el inicio de la señal y la estimación del momento en el que comienza el ruido de fondo. El cálculo de este valor surge del método propuesto por Lundeby [7] [3]. A partir de este último proceso es posible estimar los parámetros acústicos sobre la integral aplicando regresión lineal para hallar EDT, T10, T20 y T30.

3. Desarrollo

A modo introductorio, el “workflow” del software se puede apreciar en el siguiente diagrama.



3.1. Sintetización de Ruido Rosa

Mediante el siguiente pseudocódigo se mostrará el procedimiento lógico para la obtención de la sintetización.

- 1: **INICIO**
- 2: Definición de cantidad de muestras
- 3: Definición de coeficientes
- 4: Cálculo de número de muestras y obtención de nT60
- 5: Generación de vector aleatorio
- 6: Aplicación de Filtrado
- 7: Eliminación de transitorio de la señal
- 8: **FIN**

3.2. Generación de Sine Sweep y Filtro Inverso

A partir de las ecuaciones planteadas por Farina, A. [4] se realiza la sintetización de un Sine Sweep logarítmico como así también su respectivo filtro inverso.

La función encargada de la generación de dichas señales, tiene como entradas; duración (en [Seg]), límites inferior y superior (en [Hz]) y la frecuencia de sampleo que será utilizada.

Con esos parámetros la función devuelve 2 array cuyos valores son las amplitudes del sine sweep logarítmico, filtro inverso y la frecuencia de sampleo con la cual se está trabajando.

3.3. Adquisición y reproducción

El objetivo de esta función es reproducir los sonidos previamente generados y a su vez grabar la respuesta del recinto con un micrófono según las especificaciones de la norma ISO 3382 [1]. Para ello se utiliza un código sencillo utilizando la herramienta AUDIO SYSTEM TOOLBOX disponible en MATLAB. Se crean los objetos que permitirán la reproducción y grabación en simultáneo.

Una vez terminada la grabación, el código recorta la longitud extra de muestras producto de la latencia existente en el diseño. Finalmente, el código exporta en formato .wav la grabación adquirida. Este mecanismo permite no sólo la evaluación de la señal en el software desarrollado, sino la capacidad de tomar las muestras grabadas para ser evaluadas en otros softwares a fin de comparar los resultados obtenidos.

3.4. Función de carga de archivos (dataset)

Una vez que se han hecho todas las tomas necesarias se utiliza un fragmento de código para cargar todas las grabaciones y poder procesarlas posteriormente. Esta función despliega una ventana de diálogo donde se le pide al usuario que seleccione todos los archivos a procesar. Los archivos se guardan en una variable tipo "cell".

3.5. Función de sintetización de respuesta al impulso

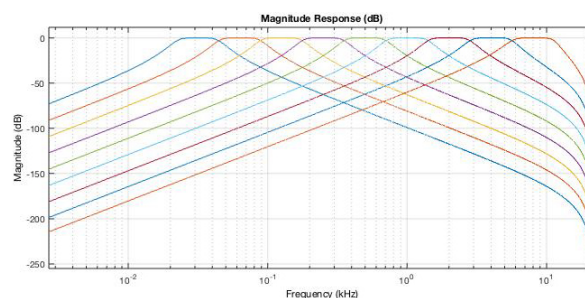
Considerando las frecuencias centrales de banda de octava y tercio de octava tal como lo establece la norma IEC 61260 [2], será posible obtener la sintetización buscada. El algoritmo sigue al detalle las ecuaciones planteadas por Venturi, A. [8] La función de sintetización nos permitirá tener una Respuesta impulsiva con valores conocidos. De esta manera es posible calibrar el software a fin de lograr resultados fiables.

3.6. Obtención de respuesta al impulso

El objetivo de la función es obtener la respuesta al impulso a partir de las grabaciones del Sine Sweep en el recinto. Para tal fin se convolucionan las grabaciones con sus respectivos filtro inverso llevando ambas señales al dominio frecuencial y así sacar provecho de las propiedades de convolución que brinda la transformada de Fourier.

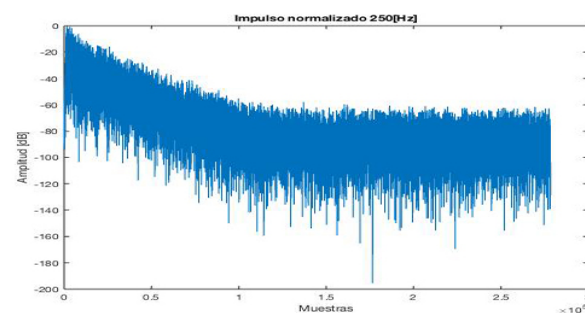
3.7. Función filtros norma IEC 61260

La función en cuestión tendrá como objetivo realizar un filtrado por banda de octava o tercio de octava con la finalidad de calcular los parámetros acústicos discriminando las frecuencias. El mismo responde a las norma IEC 61260 [2]. Las entradas a la función serán: impulsos calculados previamente, el tipo de filtrado por banda (Octava/Tercio de octava) y la frecuencia de sampleo. Se agregó una función propia del MATLAB para verificar gráficamente el correcto funcionamiento del filtro.



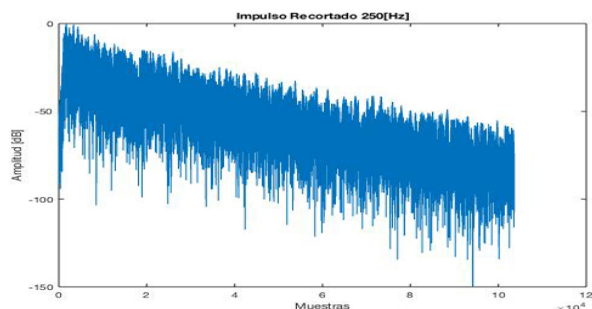
3.8. Suavizado de la señal e Integral de Schroeder

Si se realiza plot de la respuesta a impulso filtrada y normalizada en este punto del procesamiento se visualiza el decaimiento de la energía en la banda seleccionada y, hacia el final del gráfico, cómo se estabiliza la señal.

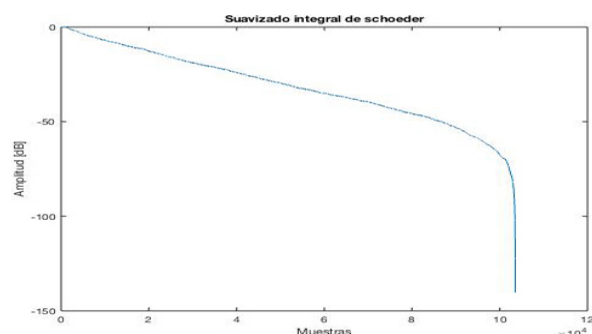


La estabilización final es lo que se conoce como el ruido de fondo. Su contribución en los cálculos

haría que la estimación de parámetros tenga errores mayores. Para subsanar este hecho se utiliza el algoritmo iterativo de cálculo del límite de Lundebly. El algoritmo utilizado es una adaptación [5] que se encargara de encontrar el límite donde comienza el ruido de fondo a fin de quitarlo de los cálculos [3].

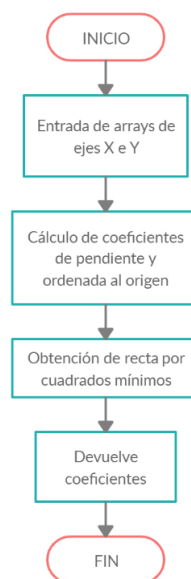


Se utiliza la transformada de Hilbert, en el caso de MATLAB ya cuenta con esta función integrada, seguida del filtro media móvil con una ventana de 500 muestras y de esta forma obtener la envolvente de la señal. Con estos datos se calcula la integral de Schoeder en los límites de integración descriptos y se normaliza usando la escala logarítmica.



3.9. Función de regresión lineal mediante método de cuadrados mínimos

Este algoritmo puede ser representado por el siguiente diagrama de flujo:



Su rendimiento fue corroborado mediante la comparación con la función *"polyfit"* de MATLAB.

3.10. Función de cálculo de parámetros acústicos

La norma ISO 3382 (UNE-EN ISO 3382, 2010) [1] indica cuatro parámetros que definirán la caracterización acústica del recinto que se analice. Los mismos corresponden a tiempo de reverberación, claridad y definición del estímulo sonoro efectuado dentro del recinto. Las ecuaciones usadas para su cálculo pueden ser encontradas en la normativa. La entrada a la función corresponde a un array de amplitudes de respuesta al impulso filtrada. Una vez terminado el procesamiento del código, se obtendrán los valores de los diversos parámetros acústicos.

4. Resultados y Análisis

Los resultados obtenidos en comparación con el software Aurora para una respuesta al impulso sintetizada fueron los siguientes:

Programa desarrollado (Sintetización)				
Parametro	125 [hz]	250 [hz]	500 [hz]	1000 [hz]
"EDT"	1,629 [s]	1,667 [s]	1,690 [s]	1,696 [s]
"T10"	1,636 [s]	1,659 [s]	1,685 [s]	1,693 [s]
"T20"	1,583 [s]	1,623 [s]	1,671 [s]	1,687 [s]
"T30"	1,495 [s]	1,558 [s]	1,643 [s]	1,674 [s]
"C80"	4,246 [dB]	2,602 [dB]	0,535 [dB]	-0,341 [dB]
"D50"	65,233 [%]	54,776 [%]	40,130 [%]	33,705 [%]

Aurora Software (Sintetización)				
Parametro	125 [hz]	250 [hz]	500 [hz]	1000 [hz]
"EDT"	1,700 [s]	1,700 [s]	1,700 [s]	1,700 [s]
"T10"	1,700 [s]	1,700 [s]	1,700 [s]	1,700 [s]
"T20"	1,700 [s]	1,700 [s]	1,700 [s]	1,700 [s]
"T30"	1,700 [s]	1,700 [s]	1,700 [s]	1,700 [s]
"C80"	-0,497 [dB]	-0,327 [dB]	-0,273 [dB]	-0,270 [dB]
"D50"	33,556 [%]	33,812 [%]	34,201 [%]	34,278 [%]

Los resultados para una respuesta al impulso grabado fueron los siguientes:

Programa desarrollado (RI)				
Parametro	125 [hz]	250 [hz]	500 [hz]	1000 [hz]
"EDT"	0,960 [s]	1,813 [s]	2,624 [s]	2,414 [s]
"T10"	1,315 [s]	2,158 [s]	2,819 [s]	2,703 [s]
"T20"	1,477 [s]	2,171 [s]	2,987 [s]	2,810 [s]
"T30"	1,648 [s]	2,212 [s]	3,005 [s]	2,833 [s]
"C80"	2,668 [dB]	-0,009 [dB]	0,150 [dB]	-1,308 [dB]
"D50"	40,714 [%]	27,420 [%]	40,801 [%]	27,734 [%]

Aurora Software (RI)				
Parametro	125 [hz]	250 [hz]	500 [hz]	1000 [hz]
"EDT"	0,895 [s]	1,561 [s]	2,369 [s]	2,187 [s]
"T10"	0,983 [s]	2,239 [s]	2,601 [s]	2,54 [s]
"T20"	1,273 [s]	2,105 [s]	2,917 [s]	2,758 [s]
"T30"	1,588 [s]	2,176 [s]	2,986 [s]	2,813 [s]
"C80"	4,275 [dB]	2,578 [dB]	1,002 [dB]	-0,160 [dB]
"D50"	60,650 [%]	48,557 [%]	50,071 [%]	41,219 [%]

Los resultados para una respuesta al impulso obtenida a partir de un sine sweep sintetizado fueron los siguientes:

Programa Desarrollado (Barrido)				
Parametro	125 [hz]	250 [hz]	500 [hz]	1000 [hz]
"EDT"	0,877 [s]	0,693 [s]	0,498 [s]	0,542 [s]
"T20"	1,047 [s]	0,730 [s]	0,579 [s]	0,528 [s]
"T30"	1,032 [s]	0,741 [s]	0,561 [s]	0,544 [s]

Aurora Software (Barrido)				
Parametro	125 [hz]	250 [hz]	500 [hz]	1000 [hz]
"EDT"	0,874 [s]	0,663 [s]	0,378 [s]	0,466 [s]
"T20"	1,112 [s]	0,773 [s]	0,606 [s]	0,512 [s]
"T30"	0,397 [s]	0,782 [s]	0,596 [s]	0,535 [s]

Se puede observar que el cálculo de parámetros para una respuesta sintetizada es aproximado a los datos proporcionados por el software aurora en los parámetros de EDT, T10, T20 y T30. Sin embargo, se ven discrepancias en los datos obtenidos en cuanto a los parámetros C80 y D50. Para una respuesta a impulso real se puede observar que el error es poco mayor a los 0,3 [s] para los parámetros EDT, T10, T20, T30. Los datos obtenidos para C80 y D50 tienen errores similares a los vistos en la respuesta sintetizada. Por último, para la respuesta al impulso conseguida a partir de un barrido de frecuencias, el máximo error corresponde al parámetro T30 de la banda de 125 [Hz] y es de aproximadamente 0,6 [s]. La diferencia entre los otros valores se encuentran por debajo de ese tiempo.

5. Conclusiones

Es posible concluir en que los resultados si bien fueron similares para los parámetros EDT, T10, T20 Y T30, aún presentan una diferencia en al menos 0,6 [s] para algunas frecuencias. Esto se podría deber en principio a la forma de estimación de los

limites de la integral de Schroeder que fueron implementados en la función Lundeby. En función de los limites de la integral, cambian los resultados. En cuanto a los parámetros C80 y D50 que trabajan directamente con la respuesta al impulso filtrada, los resultados difieren ampliamente de los valores contrastados con Aurora. Esto se debe a un erróneo funcionamiento del código en la forma en que son calculados. A la hora de cargar archivos de barridos grabados, el software implementa un mecanismo para recorte de silencios al inicio y al final en donde deja de reproducirse el barrido. Pero no lo hace de manera eficiente. Esto dificulta la obtención de una RI precisa que facilite la estimación de los parámetros acústicos. Por esta razón los resultados obtenidos fueron producto de un recorte manual con la información previa de la duración del silencio anterior y posterior a la reproducción del barrido en el recinto.

Referencias

- [1] ISO. 3382. *Acoustics - Measurement of room acoustic parameters*. 2010.
- [2] IEC 61260. *Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave-band filters - Part 2: Pattern-evaluation tests*. 2016.
- [3] H. Bietz A. Lundeby, T. E. Vigran and M. Vorländer. *Uncertainties of Measurements in Room Acoustics. Acoustics, vol. 81*. 1995.
- [4] A. Farina. *Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique. Audio Engineering Society Convention 108. Audio Engineering Society*. 2000.
- [5] B. Maseiro. *AcMus - Room Acoustic Parameters. Universidad de San Pablo. MathWorks. <https://la.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/11392-acmus-room-acoustic-parameters> Consulta: 24/Nov/2019*. 2006.
- [6] S. Wang Q. Meng, D. Sen and L. Hayes. *Impulse response measurement with sine sweeps and amplitude modulation schemes*. 2008.
- [7] M. R. Schroeder. *New Method of Measuring Reverberation Time - The Journal of the Acoustical Society of America 37*, volume 409. 1965.
- [8] A. Venturi. *Architectural Acoustics. Session 1aAAa: Advanced Analysis of Room Acoustics: Looking Beyond ISO 3382 I. ICA 2013 Montreal*. 2013.