



Desarrollo de software para el cálculo de parámetros acústicos ISO 3382

Marcos Montemarano¹, Juan Almaraz², Ian González³

1^{er} cuatrimestre de 2020

Señales & Sistemas, Ingeniería de sonido

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

¹ marcosmontemarano@hotmail.com, ² juan.almaraz097@gmail.com, ³ iangzayas@gmail.com,

Resumen

El desarrollo del sistema a utilizar en este trabajo de investigación, consta de una interfaz desarrollada en módulos, en Matlab. Donde en base a *funciones* se generan señales como, *Ruido Rosa*, *Sine Sweep Logarítmico* y su respectiva señal con un *filtro inverso* aplicado, como también sintetización y obtención de respuesta al impulso, entre otras. (Todos estos conceptos serán ampliados en la próxima sección.). Se pretende medir las propiedades acústicas de un recinto según la norma ISO 3382 con una interfaz simple y manipulable por cualquier usuario. Todo esto en un contexto de imposibilidad de presenciar la medición personalmente y con el objetivo de poder emular de la manera más fiel, dicha situación.


Keywords: ISO 3382, IR

1. INTRODUCCIÓN

En éste informe preliminar, se busca ampliar el desarrollo de cada módulo presente en el código, los cuales tienen como objetivo general, calibrar sistemas de medición, generar una respuesta al impulso de un recinto determinado a través de la reproducción y grabación de un barrido frecuencial, en simultáneo. También se utilizarán los filtros explicados en la norma ISO 3382 los cuales se aplicarán a las señales correspondientes para obtener los parámetros acústicos de un recinto.

2. MARCO TEÓRICO Y ECUACIONES


Para la comprensión completa de éste informe se precisan varios conceptos básicos, presentes en la investigación. Entre ellos se tiene:

- **Ruido Rosa:** El ruido rosa tiene como  característica una distribución de frecuencias tal que su densidad espectral de potencia es proporcional a la inversa de la frecuencia. Esto implica que su nivel, por bandas de tercio de octava, es constante. Por el contrario, el nivel del ruido rosa por intervalo fijo de frecuencias va decayendo a razón de *3dB/octava*, de

forma no lineal. Una de las cualidades del ruido rosa, y la más importante para esta investigación es su funcionamiento para calibrar equipos que van a reproducir sonido y así analizar el comportamiento de salas, altavoces, equipos de sonido etc.

Tabla 1: Frecuencia vs amplitud del ruido rosa.


Frecuencia	Amplitud
129 Hz	-30,4 dB
258 Hz	-33,1 dB
516 Hz	-36,1 dB
1033 Hz	-39,6 dB
2067 Hz	-42,6 dB
4134 Hz	-45,5 dB
8182 Hz	-48,7 dB
16365 Hz	-51,5 dB

- **Sine Sweep.**  El sine-sweep es un barrido en frecuencia. Tiene la característica de excitar sólo una frecuencia a la vez. Esto permite concentrar toda la energía de la señal en un ancho de banda estrecho. Este barrido tiene una expresión analítica, que depende del tiempo:

$$x(t) = \sin[K(e^{\frac{t}{L}}) - 1] \quad (1)$$


Con **K** y **L** dos constantes relacionadas con

el tiempo T y con las frecuencias angulares w_1 y w_2 superiores e inferiores.

- **Filtro Inverso**  consta de un procesamiento a la señal en la cual, se invierte el tiempo, es decir $x(-t)$. A su vez conlleva una modulación en amplitud que compensa la diferencia de potencia de la entrada original. El filtro inverso se define analíticamente como:

$$k(t) = m(t)x(-t) \quad (2)$$

Siendo $m(t)$ una modulación dependiente de la frecuencia angular inferior w_1 y de la derivada de la función $\theta(t)$ con respecto al tiempo.

- **Parámetros Acústicos**  (**T0, T30, T20, T10, EDT, D50 y C80**): El T60 se define como el tiempo que transcurre desde que la fuente deja de emitir hasta que el nivel de presión sonora cae 60 dB, 30dB, etc. Similar es el *Early Decay Time*, el cual toma los valores de la curva de decaimiento entre los 0dB y los -10dB. Éste se lo conoce por ser el más fiel a la percepción de reverberación por un ser humano. En éste caso, calcularemos sólo los valores de EDT, T10, T20 y T30 debido a la imposibilidad de lograr el rango dinámico necesario de 75dB para calcular T60. El C80 refiere a la claridad del recinto, definida como la relación logarítmica de las energías tempranas (antes de 80ms) y las siguientes, divididas por octavas o tercios de octavas. Por último, el D50 habla de la "definición" (se lo puede entender como un índice de inteligibilidad) del recinto, el cual es una relación porcentual entre la energía dentro de los primeros 50ms, con las posteriores (también dividido en octavas y tercios de octava).

- **Ruido de fondo**: Refiere a cualquier sonido indeseado para la medición, que puede llegar a entorpecer los datos recolectados, por lo tanto se debe analizar qué valor tiene, cómo se comporta, para así aislarlo.

- **Función Suavizado de Señal** Para desarrollar dicha función, se utilizan los siguientes teoremas/métodos:

- Función integral de Schröder: Dicha expresión se utiliza para obtener la caída de energía de una señal acústica (en función de la respuesta al impulso de un recinto) suavizada, tratando de disminuir la influencia de ruido de fondo, para así

poder hallar la pendiente que expresa dicha caída. Su expresión es:

$$S(t) = \int_t^\infty p^2(t)dt = \int_t^\infty e^{-2\delta t}dt = \frac{1}{2\delta}e^{-2\delta t} \quad (3)$$

La suavización de la curva facilita el cálculo del tiempo de reverberación.

- **Método y función Lundeby**: Esta función evalúa los diversos parámetros acústicos de una sala, con el método de procesamiento de señales de Lundeby. La entrada es la Respuesta Impulsiva del Recinto y la frecuencia de muestreo. La salida es un archivo de texto con los valores de los diversos parámetros de cada banda de frecuencia. Estos valores son: nivel de ruido, punto de intersección entre el piso de ruido y la caída de la respuesta al impulso, y el *late reverberation time*.
- Transformada de Hilbert: Ésta transformada se aplica a una señal real de modo que la transformada de Fourier discreta de la señal analítica tenga una magnitud cero a frecuencias negativas. Es decir, se obtiene la función analítica de la señal en cuestión, para así hallar su envolvente, conservando solo su módulo.
- **Filtro pasabanda**: Este es el filtro utilizado según explicita la norma ISO 3382, es un tipo de filtro que deja pasar un determinado rango de frecuencias de una señal y atenúa el paso del resto, así permite analizar cada frecuencia por separado y extraer parámetros acústicos.

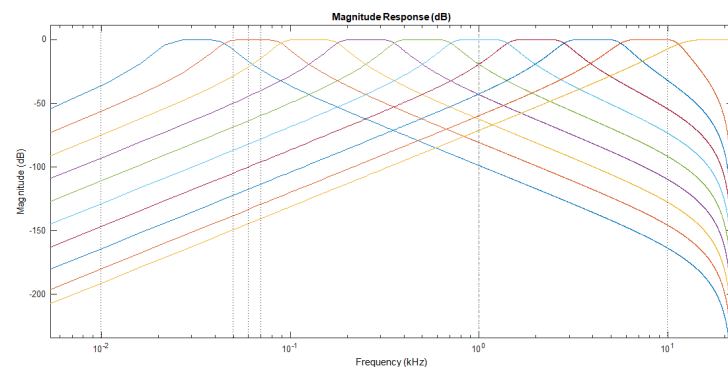


Figura 1: Filtros pasabanda aplicados a un barrido frecuencial.

3. DESARROLLO DEL CÓDIGO

Dadas las características del problema a resolver, la elaboración del código puede darse de forma modular por medio de funciones. Es decir, bloques aislados de instrucciones que interactúan entre sí por medio de valores de entrada y salida, permaneciendo encapsulados los procesos implicados en cada bloque.

Un método ágil para comprender un código funcional a un sistema, es a través de un **"Workflow"** el cual representa el recorrido de una señal de entrada a través de los distintos módulos, y la posterior salida de información.

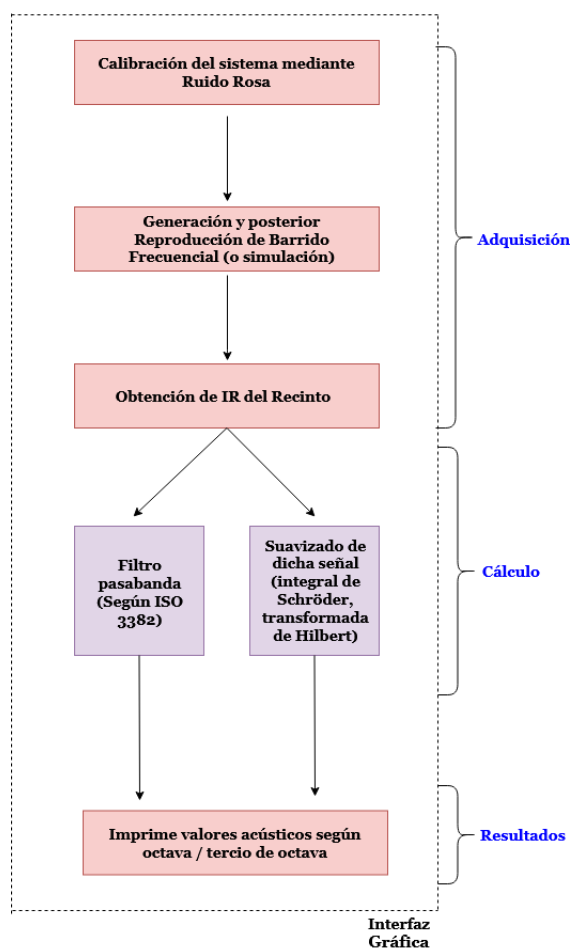


Figura 2: Diagrama de flujo de señal del código en Matlab.

Para informar más profundamente del código, definimos cada módulo de la siguiente manera:

- **Adquisición:** Se ingresa al software una señal, ya sea una IR grabada previamente como un **.wav** (a través de una función de adquisición **dataset**) o se crea dentro del mis-

mo un barrido frecuencial para luego reproducirlo las veces que sea pertinente y grabar la respuesta del recinto a dicha estimulación. Luego esa señal se convoluciona con el mismo barrido pero esta vez con el filtro inverso aplicado. Posteriormente a esto, obtenemos entonces la IR del recinto (esto es realizado por la función de sintetización de IR). En éste caso se utilizó la respuesta al impulso de Terry's tipping Room

- **Cálculo:** Éste módulo se encarga de aplicar las funciones necesarias para obtener algunos de los parámetros acústicos ya mencionados, que la norma IEC61260 explicita. Respetando ésto la primer función es el filtrado pasabanda (explicado anteriormente) el cual es aplicado al IR para obtener parámetros acústicos específicos por cada octava o tercio de octava. Luego de esto a cada señal por separado se la suaviza para eliminar ruidos indeseados o información no competente, a través de la integral de Schröder, la aplicación de la transformada de Hilbert y el método de Lundeby. Finalmente, a través de las funciones, regresión lineal por mínimos cuadrados se obtienen los tiempos de reverberación y demás parámetros.
- **Resultados:** Los valores hallados se imprimen en una tabla indicando frecuencia, valor en segundos, entre otros. Sumado a esto, se proyecta un gráfico en donde se aprecia la respuesta al impulso (Nivel de presión sonora vs Frecuencia), su propia integral de Schröder, etc.

4. Resultados y discusiones

En ésta sección, con fines de darle contexto a la investigación, se compararán los resultados obtenidos en éste software con los resultados originales del trabajo hecho en Terry's tipping Room y también se comparará con un software comercial. En este caso se utilizó el programa comercial REW (Room EQ Wizard) para calcular la integral de Schröder en la frecuencia de 1kHz y posteriormente se muestra el mismo cálculo impreso por el software desarrollado:

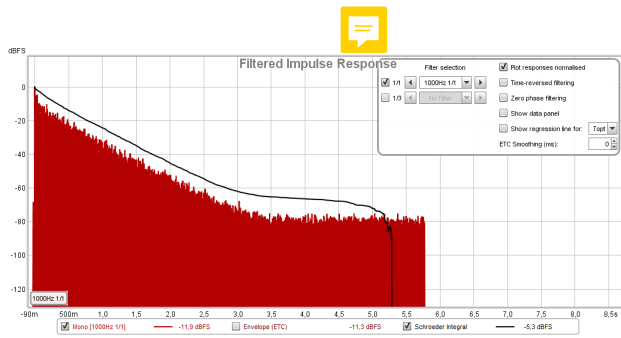


Figura 3: Integral de Schröder para 1000hz calculada por REW.(dBFS vs tiempo)

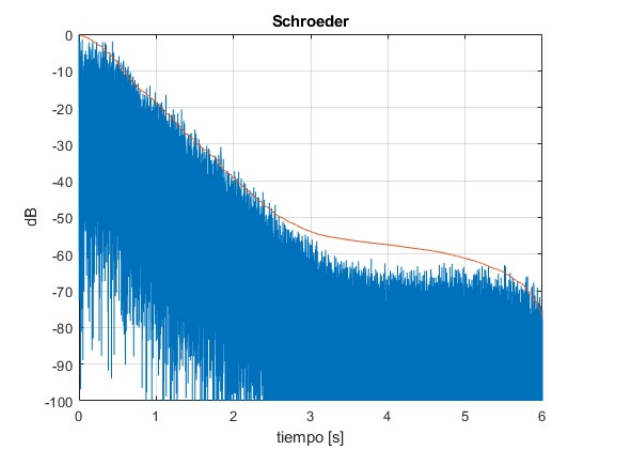


Figura 4: Integral de Schröder para 1000hz calculada por el software

Finalmente, los resultados oficiales de la investigación realizada en 2006 por la Universidad de York, arroja los siguientes datos:

Octave Band	31.25 Hz	62.5 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
Reverberation Time RT60 T30 (seconds)										
1.93	1.6	1.62	2.23	2.98	2.8	2.16	1.59	0.85	0.57	
Early Decay Time EDT (seconds)										
1.4	1.01	0.88	1.65	2.16	2.04	1.27	1.01	0.63	0.24	
Definition D50										
0.09	0.43	0.51	0.43	0.48	0.43	0.67	0.7	0.76	0.92	
Clarity C50 (dB)										
-10.05	-1.19	0.13	-1.27	-0.35	-1.31	3.13	3.66	5.02	10.82	
Clarity C80 (dB)										
-1.74	3.14	3.23	2.31	0.82	-0.02	4.1	5.71	8.41	14.29	

Figura 5: Parámetros acústicos calculados en 2006

Nótese que solo se mostraron valores de los parámetros acústicos para los 10 centros de octava. Entonces, se contrastan ahora los valores obtenidos (para centros de octava según la norma ISO3382) por el software desarrollado.

	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz
TR10 [s]	1.1131	1.0562	1.1629	2.1415	2.5572
TR20 [s]	1.8399	1.2098	1.3221	2.0499	2.8104
TR30 [s]	1.8286	1.5027	1.4988	2.1280	2.8582
EDT [s]	1.2520	0.7863	0.8744	1.6176	2.3551
D50	0.5998	0.6607	0.5901	0.4513	0.3935
C80 [dB]	4.8978	6.2313	3.9865	2.4981	-0.6826
	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	16000 Hz
TR10 [s]	2.4586	1.9428	1.3121	0.6796	0.5077
TR20 [s]	2.6336	2.0494	1.4084	0.7522	0.5074
TR30 [s]	2.6744	2.1120	1.4804	0.8207	0.5223
EDT [s]	2.1583	1.7732	1.1238	0.6840	0.4542
D50	0.3792	0.4528	0.6814	0.6885	0.8646
C80 [dB]	-0.6920	0.6938	5.3969	7.0854	11.7163

Figura 6: Parámetros acústicos calculados por el software

5. Conclusiones

Si bien los resultados obtenidos por el software desarrollado son esperados, presenta limitaciones como ser el trabajar a una determinada frecuencia de muestreo. También cabe mencionar, que el software evalúa una sola IR de donde obtiene los parámetros, pero no posee la función de “acumular” varios IR del mismo recinto y luego hallar parámetros acústicos promedio de las N mediciones hechas, esto podría afectar directamente a la fidelidad de los valores que arroja como también a los ploteos que realiza. Posterior a contrastar los valores obtenidos en software comerciales como REW y los resultados de la Universidad de York, concluimos en que los datos T10, T20, T30, EDT, C80 y D50 obtenidos son fiables en gran parte. Y se cree que luego de aplicar las modificaciones anteriormente nombradas, los parámetros podrían llegar a ser aún más acertados.

Referencias

Farina, A. (2007). Impulse response measurements. In *23rd Nordic Sound Symposium, Bolkesjø (Norway)*, pages 27–30.

Laparte Campo, M. (2011). Caracterización acústica de recintos mediante software desarrollado en matlab.

Oppenheim, A. V., Willsky, A. S., and Nawab, S. H. (1998). *Señales y sistemas*. Pearson Educación.

Torres Sánchez, J. J., Martín Cruzado, C., and Luna Ramírez, S. (2013). Software acústico de me-

didia y evaluación de recintos. *Tecniacústica Valladolid, octubre*.

- (Laparte Campo, 2011)
- (Torres Sánchez et al., 2013)
- (Farina, 2007)
- (Oppenheim et al., 1998)
- Audiolab, University of York, Dr. Damian T. Murphy (2006) - Terry's Tipping Room - OpenAIR https://openairlib.net/?page_id=740