



Caracterización acústica de recinto bajo norma ISO 3382

Modica Mauro¹, Di Laudo Ezequiel², Moreno joaquin³

Señales & Sistemas, Ingeniería de sonido

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

¹ Mauromodica98@gmail.com, ² ezequiel.di.laudo@gmail.com, ³ morenojoaquin2014@gmail.com,

2020 - 1er Cuatrimestre

Resumen

En el presente informe se describe el desarrollo de un software modular, el cual permite la obtención de los parámetros acústicos de dominio temporal EDT, T10, T20, T30, T60; de claridad C80 y de definición D50. Según normativa ISO 3382(UNE-EN ISO 3382,2001). La obtención de dichos parámetros se lleva a cabo a través de un software modular, de desarrollo propio, que cuenta con las funciones de grabación y generación sintética de sine sweep logaritmico, adquisición de la respuesta al impulso, aplicación de filtrados y suavizados pertinentes para el cálculo de los parámetros anteriormente mencionados. En el presente informe se realizan comparaciones de resultados obtenidos por este software contra resultados obtenidos por el plugin Aurora para Audacity.

Keywords: ISO 3382, Acoustic Parameters

1. INTRODUCCIÓN

El trabajo realizado consta de un software modular desarrollado para la caracterización acústica de un recinto bajo la norma IEC. Dicho programa fue realizado en el entorno de trabajo MATLAB. El software permite tanto la obtención de los parámetros acústicos en tiempo real, como para archivos pre-grabados o para respuestas al impulso anteriormente sintetizadas. El programa presenta en su entorno gráfico una sección de configuración de variables de entrada, una sección de visualización de gráficos, una sección de muestra de resultados de los parámetros acústicos calculados y una botonera para la selección de la función a ejecutar. Una vez obtenida la respuesta al impulso deseada, fase 1 del programa; se carga la misma al espacio de trabajo para ser procesada mediante funciones de filtrado y suavizado, fase 2; alistándolas para la fase 3, cálculo de parámetros acústicos. Las técnicas y análisis cuantitativos aplicados se encuentran regularizados bajo la norma ISO 3382 (UNE-EN ISO 3382,2001)

El equipo utilizado para la obtención de los datos mostrados en este informe fue:

- . Placa de sonido: Presonus Audiobox 1818vsl
- . Fuente sonora: Adam t5v
- . Mic de medicion: Behringer ECM800

2. MARCO TEORICO

2.1. Sinesweep, procesado y obtención de respuesta impulsiva

El sinesweep exponencial es una señal sinusoidal la cual aumenta su frecuencia de manera logarítmica, garantizando el mismo nivel de energia en toda la banda de frecuencias, y también presentando una disminución en el espectro de 3[dB] por octava. Al convulsionar la señal resultante de la grabación de la reproducción de esta señal en un entorno acústico, contra una señal igual a la sinesweep original pero invertida en el tiempo y con una corrección de amplitud que compense la pérdida de energia; se obtendrá la respuesta impulsiva del entorno acústico en cuestión. Esta respuesta impulsiva contiene toda la información necesaria para el calculo de parámetros acústicos tanto de tiempo de reverberación como indices de definición y claridad.

2.2. Indices de definición y claridad

Se define al D50 como la relación entre la energía recibida en los primeros 50 ms a partir de la emisión del sonido directo y la energía total. Se correlaciona el D50 con la inteligibilidad de la palabra en un recinto. El C80 es un descriptor que representa la relación logarítmica entre la energía inicial en

los primeros 80 ms y la superior a ese tiempo.

2.3. Índices de tiempo de reverberación

Se define el parámetro T60 como el tiempo requerido para que el nivel SPL decaiga 60[dB], lo análogo se define para los parámetros T10, T20 y T30. El EDT (Early Decay Time), se define como el tiempo que tarda en decaer 10 dB la presión sonora desde el momento en que la fuente deja de emitir.

3. Módulos funcionales

3.1. Calibración mediante Ruido Rosa



Se sintetiza ruido rosa. El ruido rosa ($r(t)$) es un ruido con una distribución de frecuencias tal que su densidad espectral de potencia es proporcional a la inversa de la frecuencia, ecuación (1). Esto implica que su nivel, por bandas de tercio de octava, es constante. El nivel del ruido rosa por intervalo fijo de frecuencias va decayendo a razón de 3 dB/octava, de forma no lineal. Se realiza una adquisición de datos y una reproducción simultánea y se establecen umbrales diferentes según la potencia media de la señal de entrada, obtenida con la función bandpower.

$$R(f) = \frac{1}{\sqrt{f}} \quad (1)$$

3.2. Obtención de RI



3.2.1. Síntesis de Sinesweep logaritmico

La función sinesweep.m se encarga de calcular las frecuencias angulares respectivas de cada frecuencia (inicial y final) ingresadas al programa, para luego resolver la ecuación (2) para las velocidades angulares obtenidas.

$$x(t) = \sin(K \cdot (e^{\frac{t}{L}} - 1)) \quad (2)$$

Siendo

$$K = \frac{T w_1}{\ln(\frac{w_1}{w_2})}$$

$$L = \frac{T}{\ln(\frac{w_1}{w_2})}$$

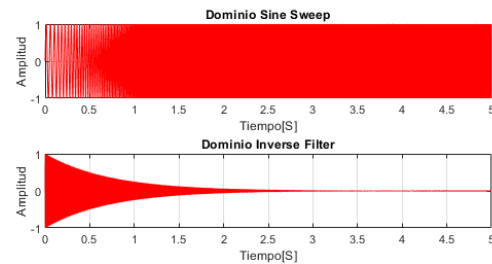


Figura 1: Gráfico del sinesweep y el dominio del filtro inverso.

Una vez obtenida la señal se genera y almacena un archivo "sinesweep.wav".

Luego, se calcula la modulación $m(t)$ mediante la ecuación (3). Esta modulación es generada para compensar la pérdida de energía de 3[dB] por octava del sinesweep exponencial.

$$m(t) = \frac{w_1}{2\pi w(t)} \quad (3)$$

Luego, utilizando la modulación recientemente obtenida, a la salida de ecuación (4) se obtiene el Filtro Inverso IF correspondiente al Sinesweep generado. En esta instancia también se escribe un archivo "inverted.wav".

$$IF(t) = m(t)x(-t) \quad (4)$$

3.2.2. Función de reproducción y adquisición

Para esta sección se utilizaron las herramientas disponibles en el Audio System Toolbox de MATLAB. La función audioPlayerRecorder se encarga de reproducir y grabar mediante dispositivos que permitan Full Duplex Audio. La función procede a leer el archivo "sinesweep.wav", reproducirlo y guardar la grabación simultánea en un archivo "SineSweepResponse.wav". Además, si el streaming de datos presenta faltantes de datos la función lo expone en pantalla.

3.2.3. Sintetización de Respuesta al Impulso



Resuelve la ecuación (5) para la sintetización de la Respuesta al Impulso en función de valores T60 cargados por el usuario.

$$Y_i = A_i e^{(\pi i t)} \cos(2\pi f_i t) \quad (5)$$

$$\pi_i = \frac{-\ln(10^{-3})}{T_{60}}$$

3.2.4. Cálculo de Respuesta al Impulso

Siendo un sine sweep logarítmica $x(t)$ y una grabación, $y(t)$, de la reproducción de esta señal en un entorno acústico. Buscamos la RI del recinto $h(t)$ mediante la convolución de la ecuación (6).

$$y(t) = x(t) * h(t) \quad (6)$$

3.3. Procesado de la IR

A la salida de la fase de procesamiento se obtienen respuestas al impulso filtradas para cada banda central en formato de archivos "impulsofiltradoi.wav" siendo i el número de banda central correspondiente.

3.3.1. Filtrado de Respuesta al Impulso

La función `filter.m` filtra la respuesta al impulso en bandas de octavas o tercio de octava según lo requiera el usuario. Los filtros son definidos mediante las funciones `designfilt`. Una vez generados los correspondientes filtros, se aplican a la RI mediante la función `filtfilt` y se almacenan los resultados filtrados en archivos con nombre "impulsofiltradoi.wav", i enumera las bandas centrales de la primera a la última.

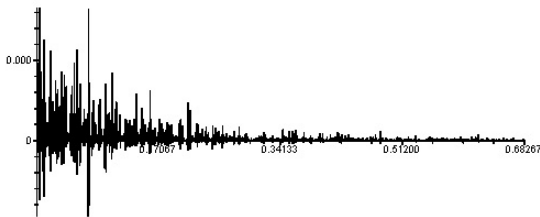


Figura 2: Ejemplo de impulso antes de ser filtrado

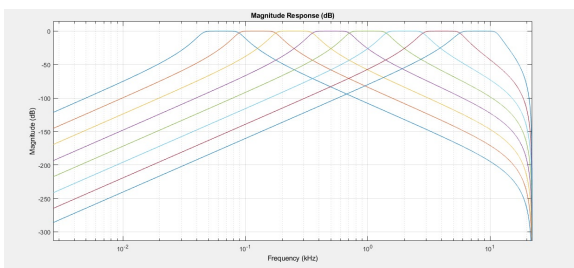


Figura 3: Así se ven los filtros de octava

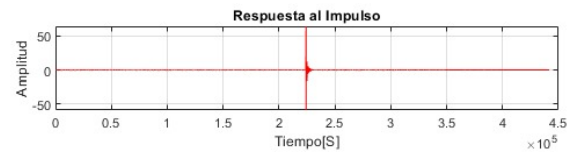


Figura 4: Ejemplo de impulso filtrado

3.3.2. Suavizado

Se carga el i -ésimo archivo "impulsofiltradoi.wav" de audio correspondiente a la banda de frecuencia deseada de visualizar por el usuario. El suavizado de la señal consiste en la aplicación de la transformada de Hilbert a la RI, luego procesada por la integral de Schroeder, $E(t)$, (7). Para establecer el extremo superior de la integral de Schroeder, se utiliza la función Lundeby. Para la respuesta al impulso:

$$p(\tau)$$

Entonces

$$E(t) = \int_t^{\infty} p^2(\tau) \cdot d\tau \quad (7)$$

3.4. Fase 3: Cálculo de parámetros

Se carga una señal IR para el cálculo de estos parámetros, ya sea la calculada por convolución o la sintetizada mediante los parámetros T60 cargados por el usuario.

Todos los parámetros acústicos calculados son volcados en una tabla, así como los ploteos de la señal suavizada y su correspondiente regresión lineal. Estos datos son presentados al usuario en la interfaz gráfica.

3.4.1. Tiempos de reverberación

Se toma la salida de la función de suavizado. Los parámetros acústicos se calculan por definición de la Normativa ISO 3382. Para esto, se determina el valor de EDT como el tiempo que tarda en caer la señal de 0 dB a -10 dB, T10 como el tiempo que tarda en caer la señal de -5 dB a -15 dB, T20 como el tiempo que tarda en caer la señal de -5 dB a -25 dB, y T30 como el tiempo que tarda en caer la señal de -5 dB a -35 dB.

3.4.2. Parámetros energéticos

Se toma la RI filtrada y suavizada y se calculan los índices de definición (D50) y claridad (C80). El D50 es un descriptor asociado a la inteligibilidad de la palabra. Se conoce como la relación entre la energía recibida en los primeros 50 ms a partir de la emisión del sonido directo y la energía total; siendo esta duración de 50ms debido a estar definido como

el límite de perceptibilidad respecto de la palabra hablada. El C80 representa la relación logarítmica entre la energía inicial en los primeros 80 ms y la superior a ese tiempo. Un valor de C80 alto significa que la energía sonora inmediata es muy superior a la tardía, lo que implica que el sonido es muy claro.

4. Desarrollo Experimental

4.1. Calibración del sistema

Siendo el recinto de la figura (1).

En condiciones de Humedad del 80 % y Temperatura de 14°

Utilizando la ecuación (8) para conocer la distancia mínima de posicionamiento del micrófono de medición a la fuente

$$d_{min} = 2\sqrt{\frac{V}{cT}} \quad (8)$$

Siendo:

V=Volumen del recinto en metros cubicos

c=Velocidad del sonido en metros sobre segundos

T=Estimación del tiempo de reverberación esperado en segundos

Se obtuvo los siguientes datos:

$$V = 12,857m^3$$

$$c = 345m/s$$

$$T = 0,5s$$

$$D_{min} = 0,54m$$

$$Alturadelamedición = 1,30m$$

Se eligen dos posiciones de medición. En posición 1 las paredes más próximas se encontraban a 50 cm ambas. En posición 2 las paredes más próximas se encontraban a 50 cm y 120 cm del micrófono de medición.

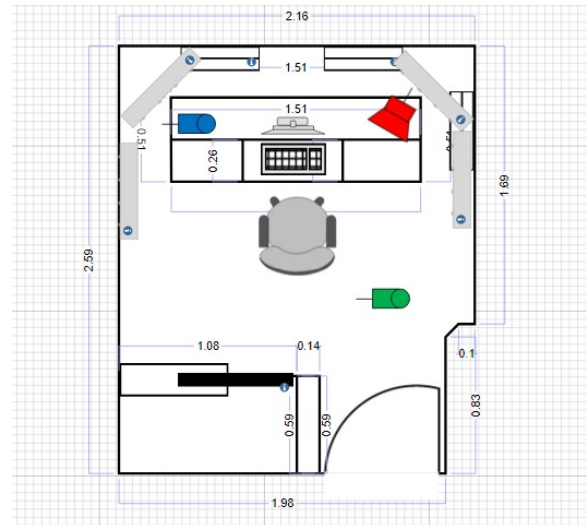


Figura 5: Habitación medida. En azul posición 1 de mic, en verde posición 2.

Se procedió a la calibración del sistema mediante utilización del ruido rosa sintetizado anteriormente. Para ambas posiciones de medición los resultados de rango dinámico fueron muy similares, por lo cual se procede a mostrar solo la demostración de rango dinámico de la posición 1. Primero se colocó el micrófono en posición y se midió el ruido de fondo. Ver figura (2).

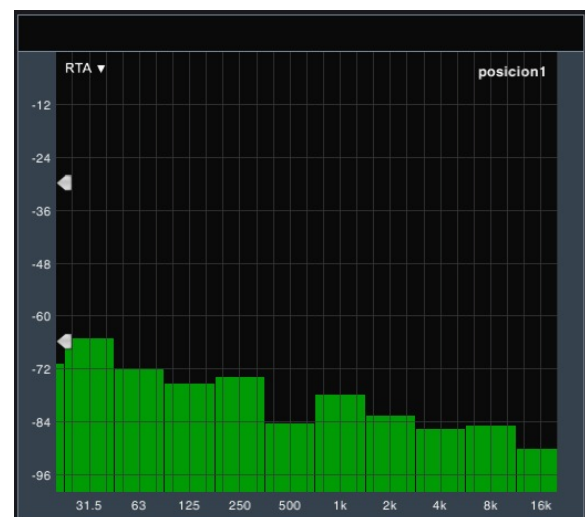


Figura 6: Ruido de fondo de 30[dB] en la habitación a medir.Posición 1

Al reproducir el ruido rosa sintetizado anteriormente se obtuvo un valor de rango dinámico de 40[dB]. (3).

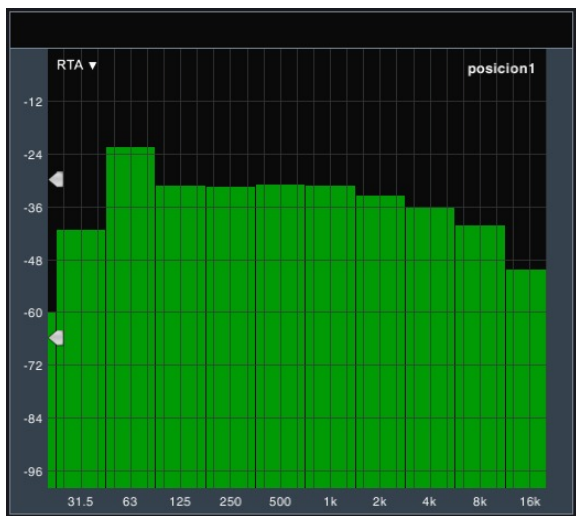


Figura 7: 70[dB] de Ruido rosa sonando en la habitación. Posición 1.

4.2. Grabación

Se procede a reproducir el sinewave generado anteriormente y almacenar 5 grabaciones para las posiciones de microfono 1 y 5 grabaciones para posición 2.

4.3. Obtención de IR

Se utiliza una de las 10 grabaciones para obtener la respuesta al impulso. La RI se obtiene mediante la función obtainIR.m del software que realiza la convolucion de la ecuación (6).

4.4. Cálculo de parámetros

Se calculan los parámetros acústicos utilizando el programa propio y también utilizando el plugin Aurora para Audacity para utilizar como referencia comparativa en la siguiente sección.

5. Resultados

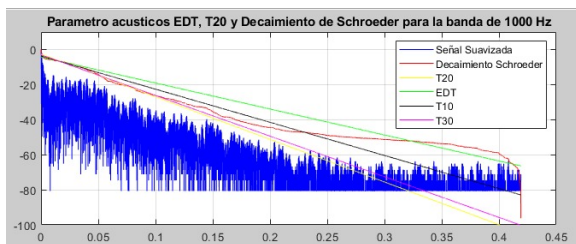


Figura 8: Ejemplificación de resultados para banda central 1KHz

Tabla 1: Resultados obtenidos por Aurora, calculando con la respuesta al impulso obtenida por convolución

	125	250	500	1k	2k	4K	8K
EDT _s	,024	,025	,282	,146	,064	,065	,072
T20 _s	,026	,024	,202	,162	-1	,048	,060
T30 _s	,027	,026	,146	,156	,151	,062	,065
C80 _{dB}	-	-	6,27	15,02	27,6	-	41,73
D50 %	100	100	95,96	98,76	99,5	99,9	99,99

Tabla 2: Resultados obtenidos por el programa propio, calculando con la respuesta al impulso obtenida por convolución.

	125	250	500	1k	2k	4K	8K
EDT _s	,022	,017	,16	,10	,04	,08	,06
T20 _s	,038	,03	0,25	0,18	,013	,11	,09
T30 _s	,034	,026	,22	,15	,11	,10	,085
C80 _{dB}	14,9	17	19,58	26	32,9	37,2	41,52
D50 %	92	95	95,56	98,5	99,66	99,67	99,88

Para visualizar mejor la diferencia entre los resultados esperados y obtenidos se realizó la resta de una la matriz esperada menos la matriz obtenida

Tabla 3: Matriz de diferencias entre lo calculado por nuestro programa y Aurora.

	125	250	500	1k	2k	4K	8K
EDT _s	,196	,145	-,122	-,046	-,024	,015	-0,004
T20 _s	,354	,276	,048	,018	1,13	,062	,032
T30 _s	,313	,234	,074	-,006	-,041	,038	,02
C80 _{dB}	-40,48	17	19,58	9,46	14,69	11,11	9,56
D50 %	-8	-5	-0,4	-,26	,101	-,313	-,11

6. Conclusión

En base a los resultados mostrados anteriormente se puede concluir que el programa hace una aproximación buena de los parámetros acústicos T20, T30, D50 y C80 en comparación con los obtenidos por el programa Audacity utilizando los Plug-ins Aurora para su procesamiento y análisis en paralelo de la RI obtenida. Sin embargo es algo evidente que algunas bandas centrales tienen una diferencia de μ segundos de error.

Esto puede deberse a varios aspectos a destacar:

. La implementación de material no apto para las grabaciones debido a la imposibilidad de cursar y utilizar los dispositivos de medición adecuados.

. La disposición reducida de la sala analizada, nuevamente causado por el hecho de no poder analizar el recinto que usualmente se utiliza para estas pruebas en la Facultad de Tres de Febrero la cual cuenta con un espacio adecuado para la diagramación precisa de los instrumentos y su posición.

. La Obtención del extremo de integración de Schroeder mediante el método Lundeby puede traer otras incertezas que se ven reflejada en los resultados obtenidos sumamente precisos de los D50 y C80 los cuales son obtenidos a partir de la señal sin suavización, al contrario de los otros parámetros que son obtenidos por la señal suavizada con los métodos nombrados durante el desarrollo de este paper los cuales pueden influir en el análisis y procesamiento de las Respuestas al Impulso

Referencias

- [1] ISO 3382:2008. *Acoustics - Measurement of rooms acoustic parameters - Part 2: Terms and definitions*. 2008.
- [2] IEC 61260. *Electroacoustics—Octave-Band and Fractional-Octave-Band Filters*. International Electrotechnical Commission Geneva, Switzerland, 1995.
- [3] D. Adams. *Acoustic Design and Noise Control*. Chemical Publishing Co., 1997.
- [4] Angelo Farina. *Advancements in impulse response measurements by sine sweeps*. @ Audio Engineering Society Convention 122. Audio Engineering Society, 2007.
- [5] UNE Norma. En iso 3382-2: 2008. *Tiempo de reverberación en recintos*.
[\[5\]](#) [\[3\]](#) [\[1\]](#) [\[2\]](#) [\[4\]](#)