



Desarrollo de software para el calculo de parámetros acústicos según ISO 3382.

Leandro Gabriel Bilbao¹, Juan Martín Rucci², Maria Victoria Alongi³

2020-1er Cuatrimestre

Señales & Sistemas, Ingeniería de sonido

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

¹ leandro.gabriel.bilbao@gmail.com, ² ju4n113@gmail.com, ³ mavialongi@gmail.com,

Resumen

En el presente trabajo se detalla el proceso de desarrollo de un software modular que permite calcular parámetros acústicos propuestos en la normativa ISO 3382 (UNE-EN ISO 3382, 2010) [3]. El mismo nos permite obtener la respuesta a un impulso de un recinto, así como también los parámetros acústicos de tiempo EDT, T10, T20, T30, C80 y D50. A causa de la pandemia provocada por el virus Covid-19, no fue posible probar el software en un recinto, por lo que se usaron respuestas sintetizadas y grabaciones de cuatrimestres anteriores. El desarrollo consiste en una serie de funciones, implementadas con el lenguaje de programación MATLAB, las cuales permiten grabar y reproducir en simultáneo un sine-sweep, obtener respuestas al impulso, reproducir ruido rosa y procesar señales para la búsqueda de parámetros acústicos.

Keywords: ISO 3382, IR

1. INTRODUCCIÓN

Este informe tiene como objetivo explicar el proceso de creación del software en cuestión a través de la descripción de las funciones implementadas en el lenguaje de programación MATLAB para el calculo de parámetros acústicos según la norma ISO 3382. Dichas funciones permiten obtener una respuesta al impulso mediante la reproducción y grabación in-situ de un sine-sweep en un recinto. Al no ser posible recurrir a una sala con los equipamientos necesarios para cumplir los requerimientos de la norma, se utilizaron respuestas sintetizadas y grabaciones realizadas en cuatrimestres anteriores, puestas en deposición por los profesores. También se implementó una serie de filtros para el análisis de las señales por frecuencia y una función que sintetiza una respuesta al impulso. Por otra parte, si se desea calibrar la fuente usada para la medición, se encuentra disponible una función que genera un ruido rosa acorde a la normativa ISO 3382.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Ruido Rosa

Es un ruido caracterizado por poseer una cantidad equivalente de nivel de presión sonora para cada banda de octava, por lo que presenta un decaimiento de 3 [dB] por octava, como se puede observar en la Figura 1.

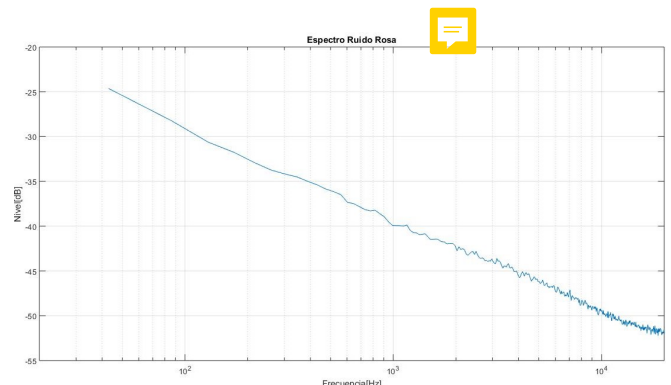


Figura 1: Respuesta en frecuencia de una señal de ruido rosa sintetizada por el software.

2.2. Tiempo de reverberación

El tiempo de reverberación, en cuanto a parámetros acústicos de un recinto, es definida por la norma UNE-ISO 3382, 2010, como la duración requerida (en segundos), para que la densidad de la energía acústica medida en un recinto decrezca en 60 dB una vez que la emisión de la fuente ha cesado, este tiempo también es conocido como T60. Es posible obtener el tiempo de reverberación con un rango dinámico menor a 60 dB a partir de distintos rangos de decaimiento, tales como 10 dB (T10), 20 dB (T20) o 30 dB (T30). Otro parámetro acústico de relevancia para este trabajo es el Early Decay Time (EDT), que se define como seis veces el tiempo en segundos que tarda en caer 10 dB la densidad de energía.

2.3. Ruido de fondo

Es el sonido no deseado, generado por fuentes ajenas a las mediciones a realizar. Una buena relación señal/ruido impide que el ruido de fondo modifique los resultados de las mediciones. La norma ISO 3382 establece que se requiere un nivel de fuente acústica que se sitúe al menos a 45 dB por encima del nivel de ruido de fondo, en la banda de frecuencias correspondiente. Si solo se va a medir T20, basta con generar un nivel que se sitúe al menos 35 dB por encima del ruido de fondo.

2.4. Descriptores de claridad

Estos parámetros son los que describen las condiciones de claridad en un recinto, tales como la condición de inteligibilidad de la palabra. los descriptores de claridad que se utilizaran son, por un lado, el C80, que corresponde a la relación entre el nivel de energía acústica en los primeros 80 ms con el nivel de energía acústica tardía. Por otro lado el D50, es una relación de energía para un límite temporal precoz de 50 ms.

2.5. Sine Sweep y Filtro Inverso

El sine-sweep es un barrido de frecuencias en el tiempo, que permite centrar la energía de una frecuencia específica para un momento determinado. Siendo el método más adecuado para la generación de un impulso por medio de la convolución. El sine-sweep es generado mediante:

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

Donde

$$K = \frac{Tw_1}{\ln(\frac{w_2}{w_1})} \quad (2)$$

y

$$L = \frac{T}{\ln(\frac{w_2}{w_1})} \quad (3)$$

con w_1 y w_2 las frecuencias angulares inferior y superior respectivamente, y T el tiempo de duración del sine-sweep en segundos. Para obtener el filtro inverso hay que invertir el sine-sweep en el tiempo obteniendo $x(-t)$. Posteriormente se realiza una modulación en la amplitud para compensar la diferencia energética con respecto a la señal de entrada original, esta modulación se expresa por:

$$m(t) = \frac{w_1}{2\pi w(t)} \quad (4)$$

Obtenida de la frecuencia instantánea, correspondiente a la derivada de la ecuación (1):

$$w(t) = \frac{K}{L} e^{(t/L)} \quad (5)$$

quedando definido el filtro inverso $k(t)$ como

$$k(t) = m(t)x(-t) \quad (6)$$

2.6. Respuesta al impulso

Es la respuesta de presión sonora en el tiempo en un sistema al cual se le aplica un estímulo sonoro de corta duración. Es posible obtener la respuesta al impulso $h(t)$ de una sala, a partir de un sine-sweep $x(t)$ al aplicar la ecuación (7):

$$y(t) = x(t) * h(t) \quad (7)$$

En donde $y(t)$ es la señal captada por un micrófono ubicado en la sala. A partir de las propiedades de convolución de la transformada de Fourier, podemos expresar la ecuación (7) como:

$$x(t) * h(t) = X(jw)H(jw) \quad (8)$$

$$Y(jw)/X(jw) = H(jw) \quad (9)$$

y luego se aplica la inversa de la transformada de Fourier para obtener la respuesta al impulso de la sala, como muestra la ecuación (10):

$$h(t) = F^{(-1)}[H(jw)] \quad (10)$$

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para esta etapa se utilizaron funciones para encapsular cada problema por separado, para luego, poder utilizar y testear cada una de estas funciones por separado, y finalmente implementar una interfaz gráfica que junte todas las funciones codificadas para que sea más accesible para cualquier usuario. La forma en como se unen las funciones dentro del software se puede ver en la figura 2.

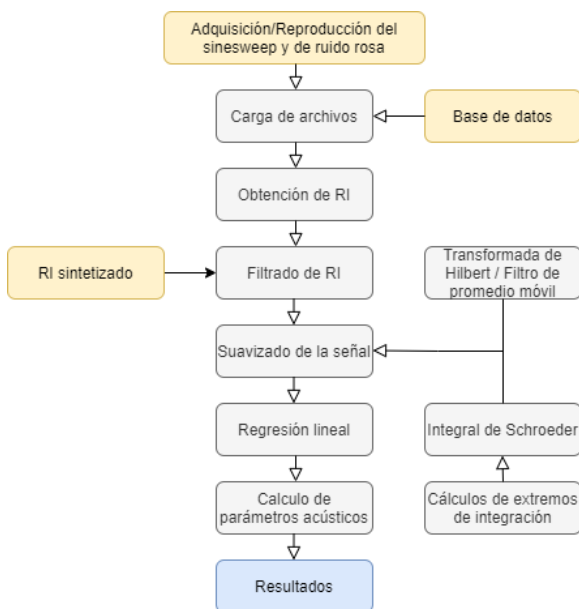


Figura 2: Diagrama en bloque que muestra como se unen las funciones para el funcionamiento del software

3.1. Sine Sweep y Filtro Inverso.

La función Sine Sweep y Filtro Inverso utiliza las ecuaciones (1) a (6), para que a partir de los parámetros de entrada, tiempo de duración de la señal T [s], frecuencia inicial w_1 [Hz] y final w_2 [Hz], genera un archivo .wav para cada una de las señales. En la figura 3 podemos ver un ejemplo de la ejecución de la función, siendo $t=5$ [s], $w_1=80$ [Hz], $w_2=11000$ [Hz].

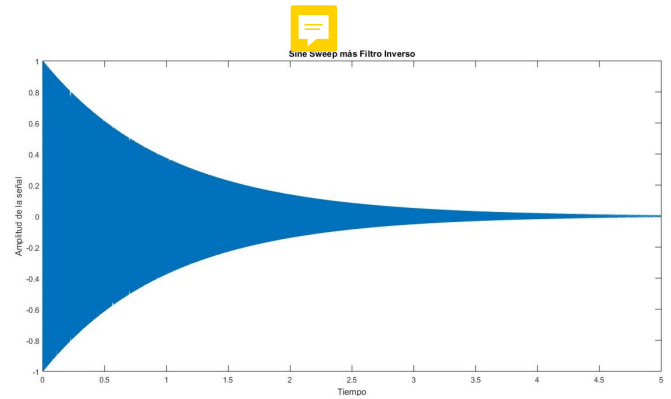


Figura 3: Dominio temporal de la señal del filtro inverso de 5 [s] para las frecuencias angulares 80 y 11000 [Hz].

3.2. Adquisición y Reproducción.

La finalidad de esta función es reproducir las señales previamente generadas mediante una interfaz y al mismo tiempo grabar la respuesta del recinto captada por un micrófono según las especificaciones de la normativa ISO 3382. Para sintetizarla fueron utilizadas las funciones de audioread, audiorecorder y getaudiodata para crear un vector con los valores obtenidos en el tiempo. La función audiorecorder genera un objeto de audio con valores predeterminados de frecuencia de muestreo de 44100 muestras por segundos, con una profundidad de 8 bits. La grabación será parada en un tiempo determinado por el usuario con la función record-blocking. Luego la grabación se la guardara como un archivo .wav.

3.3. Carga de archivos.

Esta función tiene como finalidad cargar archivos de audio con formato “.wav”, que corresponden a grabaciones de respuesta al impulso y sine sweep con su respectivo filtro inverso, o los archivos que el usuario decida implementar. La función permite definir la cantidad de archivos de audio a cargar para luego ordenarlo en una celda de $n \times 3$, siendo n la cantidad de archivos a seleccionar, y en cada fila de tres columnas se registran los valores de la amplitud de la señal, la frecuencia y el nombre de cada archivo de audio.

3.4. Filtro en bandas de una octava y tercio de octava.

El objetivo de esta función es generar un banco con los coeficientes de los filtros en una variable de clase Cell (Celda). Para elegir el tipo de filtrado se debe ingresar a la función el número 1 (octava) o 3 (tercio de octava). Se utilizó la la función designfilt con un orden 8 y 6 respectivamente por cada

frecuencia central según la norma IEC 61260 [2] Se utilizó la función fvtool para graficar los filtros diseñados.

3.5. Respuesta al impulso

Esta función toma los datos de los archivos de audio de la grabación del sine-sweep en la sala y el del filtro inverso con los mismos parámetros y devuelve la respuesta al impulso de la sala.

3.6. Suavizado de la señal

Para el suavizado de la señal se utilizan dos métodos distintos. El primer método es la transformada de Hilbert, que se utiliza en la función original para obtener la llamada función analítica, la cual permite obtener la envolvente de la señal, conservando solo el modulo de dicha transformación. El segundo método utilizado es la función integral de Schoeder, que permite aproximar un impulso a una señal más adecuada para calcular parámetros acústicos. Junto con la integral de Shcoeder se utiliza la función de Lundebly, con el fin de obtener el límite superior de la integral, este límite excluye el ruido de fondo de la señal.

3.7. Calculo de parámetros acústicos

Para poder calcular los parámetros acústicos primero se utiliza una regresión lineal en la señal por el método de mínimos cuadrados. Al introducir una respuesta a un impulso suavizada, la función calcula los descriptores temporales EDT, T10, T20, T30, C80 y D50.

3.8. Interfaz Gráfica

Se implemento una interfaz en la que se desarrollaron las funciones para la facilitación de manejo por parte de usuarios que no conocen la implementación de las funciones. Consta de la producción, reproducción y grabación de ruido rosa o sine-sweep con su filtro inverso según se indique. También se pueden cargar archivos de audio. Luego se procesa la señal ya sea por octava o tercio de octava y se obtienen los resultados de los parámetros acústicos en la tabla. La imagen de la interfaz gráfica puede verse en la figura 4. Para el correcto uso de la misma se debe cargar un archivo de respuesta al impulso, generar un sinewave con los parámetros de señal utilizados en dicho impulso, seleccionar el tipo de filtro y procesar. También se puede generar la respuesta al impulso reproduciendo y grabando una señal generada por el software en un recinto.

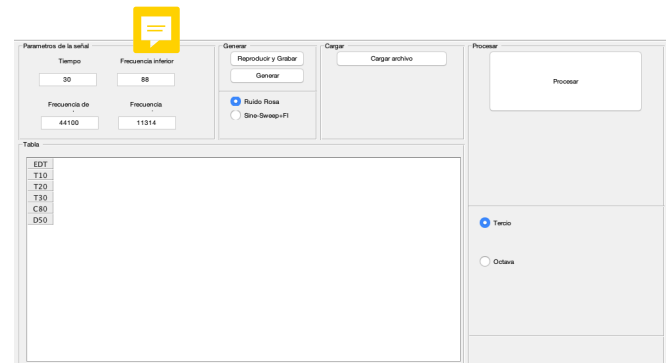


Figura 4: Interfaz gráfica del programa.

4. RESULTADOS

En las figuras 5 y 6 se muestran los espectros de un sine-sweep y un sine-sweep más filtro inverso respectivamente, se puede observar que mientras el primero decae -3dB/oct, el segundo al aplicar el filtro inverso aumenta 3dB/oct, coincidiendo con lo esperado.

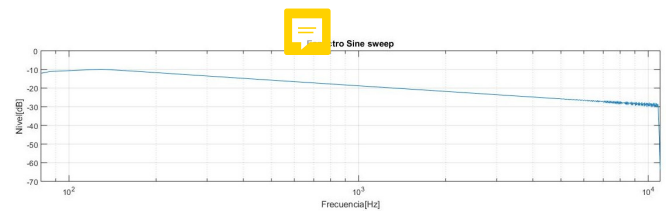


Figura 5: Espectro de un sine-sweep generado de $t=5\text{seg}$, $w_1=80\text{Hz}$ y $w_2=11\text{kHz}$.

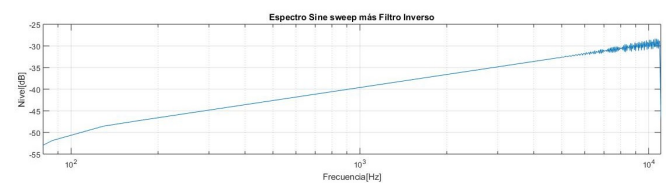


Figura 6: Espectro de un sine-sweep más filtro inverso generado de $t=5\text{seg}$, $w_1=80\text{Hz}$ y $w_2=11\text{kHz}$.

A través de la interfaz gráfica, se calcularon los parámetros acústicos de una grabación de un sine-sweep realizados en el Taller de Ingeniería en Informática de la Universidad Nacional de Tres de Febrero [1], dichos resultados visibles en la figura 7. Luego se realizó el mismo análisis utilizando el software Aurora para comparar los resultados, como podemos ver en la figura 8.

Figura 7: Tabla de valores de parámetros acústicos de $\text{Toma}_n1_a - 03.wav$

Frec. [Hz]	EDT [s]	T10 [s]	T20[s]	T30[s]	C80 [dB]	D50 [porc.]
125	0.0634	0.0740	0.0696	0.0711	-14.688	1.3064
250	0.0320	0.0377	0.0349	0.0348	-14.575	1.7158
500	0.0159	0.0189	0.0175	0.0175	-13.457	2.3931
1000	0.0060	0.0086	0.0084	0.0084	-11.384	3.8785
2000	0.0020	0.0016	0.0026	0.0030	-9.519	5.8845
4000	-	-	-	-	-15.865	1.6051
8000	0.7910	0.07654	0.7745	0.07768	-19.361	0.06050

Figura 8: Tabla de descriptores calculados por Aurora de $\text{Toma}_n1_a - 03.wav$

Frec. [Hz]	EDT [s]	T20[s]	T30[s]	C80 [dB]	D50 [porc.]
125	0.830	1.096	1.390	4.023	53.157
250	0.724	0.640	0.656	3.651	48.303
500	0.458	0.535	0.532	10.174	81.435
1000	0.371	0.515	0.536	11.717	81.435
2000	0.524	0.690	0.689	8.244	69.248
4000	0.678	0.748	0.775	5.918	63.498

Como se puede observar de las tablas los valores de los tiempos de reverberación obtenidos por nuestro programa parecen estar corridos por 2 decimales para todas las frecuencias exceptuando las de 4000 Hz y 8000 Hz. Exceptuando ese problema resultan ser los valores bastante parecidos a los obtenidos por Aurora. En cuanto a los valores de los descriptores es notorio que no dieron los valores esperados.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a través del diseño del software para el cálculo de los tiempos de reverberación demuestran que al código le faltarían algunos ajustes, ya que la diferencia en los cálculos entre el software comercial y los datos obtenidos por nuestro programa son notables. Si bien los datos obtenidos a través del programa Aurora dan respuestas irrisorias en algunos casos los datos obtenidos no llegan a ser satisfactorios. Esto puede llegar a ser porque el método de suavización o cálculo de parámetros utilizado no fue implementado correctamente o hay algún error de tipeo en alguna de las funciones que está provocando el corrimiento de los valores. En cuanto al D50 y C80 podemos notar amplios márgenes de errores por lo cual se puede confirmar que el método utilizado para calcular estos parámetros no fue correcto y se debería utilizar algún otro.

Referencias

- [1] *Caracterización de aula a partir de la medición de respuesta impulsiva con Sine-sweep.*
- [2] *IEC. 61260. Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave-band filters.* 1995.
- [3] *ISO. 3382. Acoustics Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.* 1997.