

# Desarrollo de software para el cálculo de parámetros acústicos ISO 3382

Haidar, Juan Francisco<sup>1</sup>, Neira, Matías Nicolás<sup>2</sup>, Tomaz, Matías<sup>3</sup>

Señales & Sistemas, Ingeniería de sonido

Año 2020 - 1º cuatrimestre

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

<sup>1</sup> juanfheidar@gmail.com, <sup>2</sup> maatineira5@gmail.com, <sup>3</sup> matitomaz@gmail.com

## Resumen

*El siguiente trabajo considera el desarrollo de un software modular para el análisis de ciertos parámetros acústicos contemplados en la normativa ISO 3382. Se presenta una etapa de calibración de la fuente mediante ruido rosa, como también una etapa de procesamiento de las señales donde se calculan, finalmente, los descriptores acústicos de un recinto EDT, T20, T30, T60, D50 Y D80. Para la creación del sistema, se implementó el lenguaje informático Matlab. Luego de la comparación con un programa comercial, se concluye en un correcto desempeño del software confeccionado.*

**Keywords:** ISO 3382, IR

## 1. Introducción

Con el objetivo de caracterizar acústicamente un recinto, se procede de la siguiente manera: en una primera instancia, se calibra la fuente empleando ruido rosa; como segundo momento, haciendo uso de un barrido en frecuencia del tipo senoidal, sine-sweep, se obtiene la respuesta impulsiva del recinto; finalmente, basándose en el decaimiento de la señal, se calculan los parámetros contemplados en la normativa ISO 3382 tales como el EDT, T20, T30, T60, D50 y C80[2].

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Tiempo de Reverberación (TR)

Se define el tiempo de reverberación (TR) de una señal como aquel requerido para que decaigan, a una determinada intensidad, las reflexiones del sonido directo. La norma ISO 3382 define el T60 como el tiempo necesario para que el nivel de presión sonora decaiga 60 [dB] luego de que la fuente emisora deja de actuar. La normativa ISO 354, a su vez, afirma que es posible obtener el T60 mediante la extrapolación de mediciones correspondientes al decaimiento temprano de la señal tales como caídas de 10 [dB] (T10), 20 [dB] (T20) o 30 [dB] (T30)[6].

### 2.2. Ruido Rosa

El ruido rosa, también conocido como  $1/\sqrt{f}$ , es una señal cuyo nivel de presión sonora está caracterizado por una densidad espectral inversamente proporcional a la frecuencia  $f$ . Es utilizado, mayormente, para calibrar la fuente sonora. Cuando se visualiza en un analizador de espectro, se denota que todas las bandas de octava tienen el mismo nivel sonoro. Para lograr esto, el ruido rosa tiene una caída de 3 [dB] por octava [Figura 1][8].

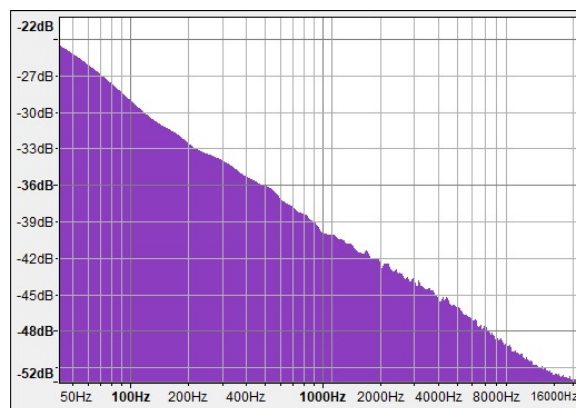


Figura 1: Ruido Rosa inmerso en un analizador de espectro

### 2.3. Sine-sweep logarítmico

El sine-sweep logarítmico es una señal sinusoidal de amplitud constante cuya frecuencia varía en función del tiempo [Figura 2]. Es caracterizado por excitar una frecuencia a la vez, de manera ascendente, considerando un rango entre las frecuencias angulares  $\omega_1$  y  $\omega_2$ , y un tiempo de duración T. Su espectro presenta una disminución de 3 [dB] por octava y es definida por la expresión matemática correspondiente[5].

$$x(t) = \sin\left[\frac{T\omega_1}{\ln(\frac{\omega_2}{\omega_1})}\left(e^{\frac{t \ln(\frac{\omega_2}{\omega_1})}{T}} - 1\right)\right] * x(t) \quad (1)$$

donde  $x(t)$  es la función sine-sweep logarítmico y  $t$  es la variable independiente de longitud igual a T y cantidad de valores igual a la suma de muestras tomadas (hallada al multiplicar la frecuencia de sampleo, Fs, con T).

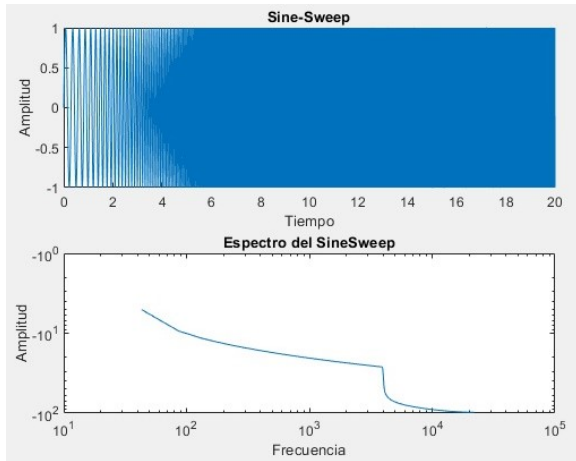


Figura 2: Espectro de sine-sweep en función del tiempo (sup.) y en función de la frecuencia (inf.)

### 2.4. Filtro inverso

El filtro inverso consiste en la inversión en tiempo del sine-sweep, de modo que se obtiene  $x(-t)$ . A su vez, conlleva una modulación en amplitud,  $m(t)$ , dada por la ecuación (2).

$$m(t) = \frac{1}{2\pi e^{\frac{t \ln(\frac{\omega_2}{\omega_1})}{T}}} \quad (2)$$

La modulación compensa la diferencia de energía respecto a la señal de entrada original. El filtro inverso,  $k(t)$ , queda definido entonces como (3).

$$k(t) = m(t) * x(-t) \quad (3)$$

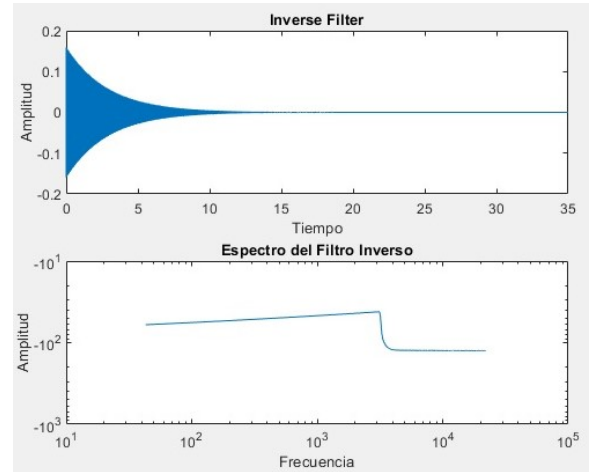


Figura 3: Espectro del filtro inverso en función del tiempo de duración (sup.) y en función de la frecuencia (inf.)

### 2.5. Ruido de fondo

Se define ruido de fondo como todo aquel emitido por cualquier fuente que no sea aplicada a la medición, incluyendo aquel proveniente del aire, por vibraciones estructurales o ruido eléctrico generado por el instrumental.

### 2.6. Respuesta al impulso (RI)

Se define la respuesta al impulso como la evolución temporal de la presión sonora observada en un punto de un recinto como resultado de la emisión de un impulso tipo Dirac desde otro punto del recinto[2].

### 2.7. Conversión a escala logarítmica normalizada

A fin de obtener una visualización más acorde al sonido y a la manera en que opera el oído humano, se realiza una conversión logarítmica de la señal  $A(t)$  elegida.

$$R(t) = 20 \log_{10} \frac{A(t)}{\max A(t)} \quad (4)$$

### 2.8. Suavizado de la señal

Para el suavizado de la señal se implementó la técnica que corresponde a la aplicación de la transformada de Hilbert (5). Al tomar el valor absoluto de la misma, se obtiene la envolvente de la señal transformada  $(s(t))$ .

$$s(t) = H[s(t)] = (h * s)(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{s(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad (5)$$

## 2.9. Integral de Schroeder

Utilizada, entre otras cosas, para la obtención de una aproximación de la respuesta al impulso, RI, se define la integral de Schroeder mediante la ecuación (6), donde  $\tau$  refiere a la RI analizada y  $t$  refiere al tiempo en segundos[6].

$$E(t) = \int_t^{\infty} \tau^2(t) dt \quad (6)$$

## 2.10. Parámetros acústicos

Con el fin de caracterizar la acústica de un recinto, se estudian ciertos parámetros que conforman las cualidades sonoras de un lugar. Dentro de éstos, presentan gran relevancia los descriptores contemplados en la normativa ISO 3382 relacionados con el tiempo de reverberación de una señal, generalmente, impulsiva: ellos son el EDT (Early Decay Time), T10, T20, T30, T60, C80 Y D50. Los datos resultantes de una medición previa son aproximados por una regresión lineal a través del método de cuadrados mínimos[1]. Posteriormente, dichos coeficientes se calculan de la siguiente manera: para el cálculo del EDT, se halla el tiempo necesario para que tal aproximación decaiga desde 0 [dB] hasta -10 [dB]; para T10, se multiplica por seis el tiempo que tarda la recta en caer de -5 [dB] hasta -15 [dB]; para T20, se multiplica por tres el tiempo que tarda la recta en caer de -5 [dB] hasta -25 [dB] y para T30, se multiplica por dos el tiempo necesario para que la recta decaiga de -5 [dB] hasta -35 [dB]. Los dos últimos parámetros refieren, por un lado, a la definición e inteligibilidad, D50, y, por otro lado, a la claridad del recinto, C80[4].

## 3. Desarrollo experimental

El desarrollo del trabajo se conforma, en una primera parte, por la creación del software en cuestión y, en una siguiente, por la validación del mismo a través del uso de un dataset propio de un recinto.

### 3.1. Articulación del software

Conformado por cuatro secciones principales, la interfaz gráfica del software presenta un diseño afable y de fácil implementación por parte del consumidor [Figura 4]. Cuenta con la posibilidad de grabar una respuesta impulsiva, como también, ofrece la adquisición de la misma sea resultado de una medición o de forma sintetizada. En la sección “Procesamiento”, se le brinda al usuario una tabla con los datos correspondientes a los parámetros acústicos buscados, presentando, además, la opción de guardado para una mejor adquisición y lectura de los

mismos [Figura 5]. Además, se adjunta un manual de usuario que explica, detalladamente, la función y modo de operación de cada sección.



Figura 4: Menú principal de interfaz gráfica

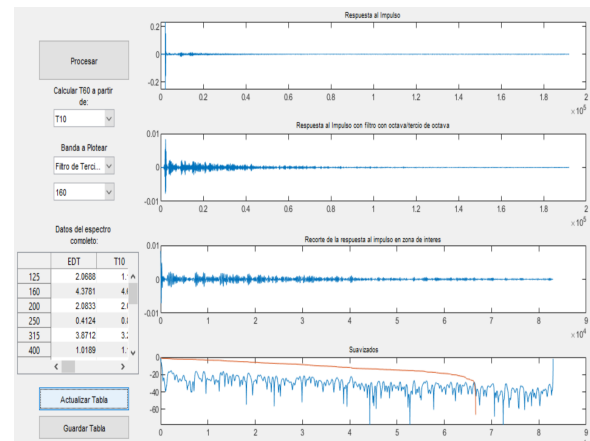
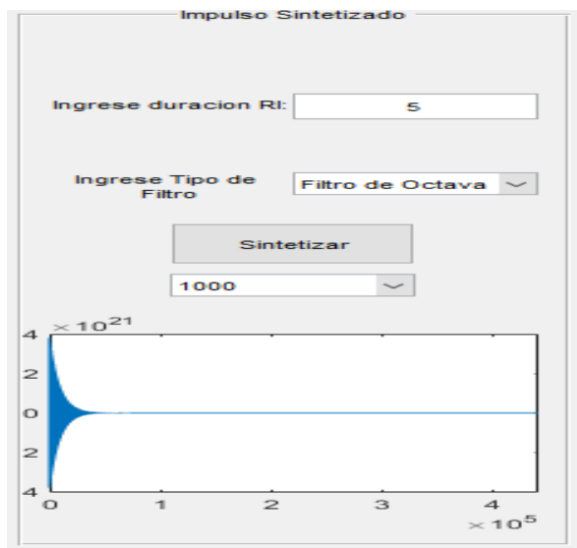


Figura 5: Sección *Procesamiento*

#### 3.1.1. Respuesta del sistema al impulso (RI)

Se configuró un barrido en frecuencia de tipo senoidal, sine-sweep, y su respectivo filtro inverso. Una vez logrados, se procedió a la convolución entre ambos empleando la función *conv* de *Matlab* para hallar, finalmente, la respuesta al impulso deseada. Luego de obtenerla, la señal es filtrada en la banda elegida y recortada a partir del impulso, siendo esta la zona de interés a procesar. Tales consideraciones se perciben en los primeros tres gráficos de la Figura 5.

Respecto a la sintetización de la RI, el consumidor posee libertad de elección de la duración, banda y tipo de filtrado de la señal buscada [Figura 6].

Figura 6: Sección *Sintetizar RI*

### 3.1.2. Filtrado de la señal

Con el objetivo de calcular los parámetros acústicos discriminando las frecuencias, se efectuó el filtrado de la señal por banda de octava y tercio de octava según la norma IEC 61260[3]. Se hizo uso de la función *filt*, configurada de tipo *handless*, la cual opera con las herramientas del DSP Toolbox, propio de *Matlab*.

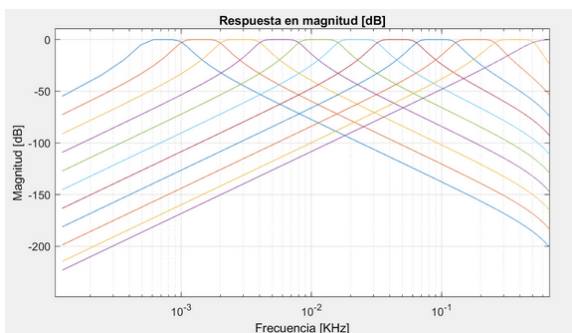


Figura 7: Filtros por banda de octava

### 3.1.3. Suavizado de la señal

Como un primer momento, el suavizado de la RI se lleva a cabo implementando la transformada de Hilbert para, de esa forma, obtener la envolvente de la señal al tomar el módulo correspondiente. Luego, se aplica el suavizado de la misma a través del método de la integral de Schroeder. Para esta última, se hace uso de la compensación del ruido de fondo de Lundebj, logrando, así, una medición más acertada de la respuesta impulsiva. En el último plot de la Figura 5 se puede apreciar la aplicación

de Schroeder en la señal suavizada y normalizada previamente.

### 3.1.4. Cálculo de parámetros acústicos

Se confeccionó la función *acoustic parameters*, la cual arroja un array conformado por los valores de EDT, T10, T20, T30, D50 y C80. Ubicando el valor máximo de la señal, se localizan, a través de restas, los puntos dónde la RI toma 5, 10, 15, 25 y 35 [dB] por debajo de dicho pico. Una vez obtenidos tales puntos, se realizan las cuentas especificadas en la sección 2.10.

## 3.2. Desempeño en recinto

Con el objetivo de validar el software mediante una manipulación del mismo en una situación real, se hizo uso de un dataset adquirido por la empresa Isophonics que se encuentra conformado por distintas mediciones de una respuesta impulsiva en un recinto[7]. Llevadas a cabo mediante la técnica de sine-sweep, se realizaron 169 mediciones empleando un altavoz Genelec 8250A y dos micrófonos: un omnidireccional DPA 4006 y un Soundfield SPS422B de formato tipo B. Las mediciones fueron efectuadas en el Octágono, ubicado en el Mile End Campus de Queen Mary (Londres, Inglaterra). Las figuras 8 y 9 muestran el relevamiento del recinto correspondiente, como también la ubicación de los micrófonos en cada toma.



Figura 8: Recinto donde fueron efectuadas las mediciones

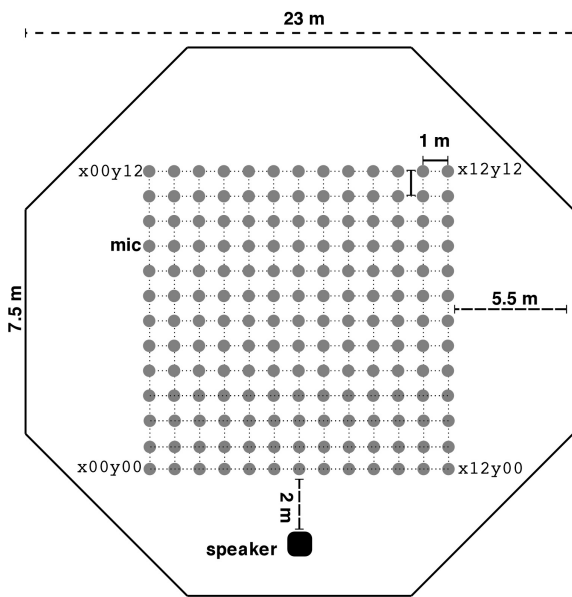


Figura 9: Dimensiones del recinto

## 4. Resultados y análisis

A modo de corroboración del desempeño del software y los resultados arrojados por éste, se produjo una comparación con los datos hallados por el software comercial Audacity junto a el plug-in Aurora. Las siguientes tablas indican los parámetros acústicos comparados en dos mediciones: x04y04 y x08y04.

Tabla 1: Descriptores hallados con software propio - Toma x04y04

Descriptores	125 Hz	500 Hz	1000 Hz	4000 Hz
EDT [s]	2.068	1.018	1.066	0.030
T10 [s]	1.194	1.151	1.539	1.303
T20 [s]	0.687	0.657	0.817	0.992
T30 [s]	0.478	0.441	0.546	0.704
C80 [dB]	-2.744	-1.213	0.948	9.184
D50 [%]	24.298	42.379	55.370	89.630

Tabla 2: Descriptores hallados con Aurora - Toma x04y04

Descriptores	125 Hz	500 Hz	1000 Hz	4000 Hz
EDT [s]	1.299	2.590	2.529	1.626
T20 [s]	1.117	2.180	2.479	1.843
T30 [s]	1.108	2.005	2.183	1.805
C80 [dB]	3.847	0.473	0.657	4.475
D50 [%]	15.278	41.749	34.638	58.601

Tabla 3: Descriptores hallados con software propio - Toma x08y04

Descriptores	125 Hz	500 Hz	1000 Hz	4000 Hz
EDT [s]	1.796	2.528	0.982	0.030
T10 [s]	0.657	2.069	1.055	1.354
T20 [s]	0.378	1.142	0.688	0.979
T30 [s]	0.254	0.776	0.473	0.687
C80 [dB]	-3.646	-1.332	0.332	9.071
D50 [%]	24.438	41.537	51.765	89.287

Tabla 4: Descriptores hallados con Aurora - Toma x08y04

Descriptores	125 Hz	500 Hz	1000 Hz	4000 Hz
EDT [s]	6.194	3.128	3.433	2.328
T20 [s]	-	2.562	2.877	2.164
T30 [s]	-	2.214	2.659	2.008
C80 [dB]	-2.917	1.940	2.449	5.148
D50 [%]	30.903	59.411	62.113	75.499

Se aprecia un error no mayor a 2 [s] en los parámetros que poseen al tiempo como magnitud con excepción del EDT correspondiente a la banda de 125 Hz de las últimas dos tablas.

En cuanto al descriptor C80, el error del software confeccionado no supera los 5 [dB], valor despreciable para el oído humano.

Y por último, el coeficiente de definición e inteligibilidad, D50, presenta diferencias mayores del 20 porc. sólo en la banda de 1000 [Hz] y 4000 [Hz] de la primer toma; en el resto de las frecuencias centrales, la diferencia porcentual se reduce.

Cabe aclarar que el software Audacity presenta una frecuencia de muestreo de 96 [KHz], mientras que la del software propio es igual a 44.1 [KHz]; ésto resulta un obstáculo a la hora de calcular con mayor precisión los descriptores acústicos. Creemos que la falta de exactitud del sistema configurado se debe, junto a otros factores, a las impurezas de los métodos empleados para el procesamiento de la señal.

## 5. Conclusiones

Contemplando la información obtenida, su comparación con el software comercial y posterior análisis, se distinguen ciertas imperfecciones que deberán ser solventadas pero que no presentan una magnitud relevante en el tema de estudio. Dicho lo anterior, se concluye en un correcto desarrollo del software modular creado.

## Referencias

- [1] ISO 3382:2008. *Acoustics - Measurement of rooms acoustic parameters - Annex C: Formulas for the least-squares fit method*. 2008.
- [2] ISO 3382:2008. *Acoustics - Measurement of rooms acoustic parameters - Part 2: Terms and definitions*. 2008.
- [3] IEC 61260. *Electroacoustics—Octave-Band and Fractional-Octave-Band Filters*. International Electrotechnical Commission Geneva, Switzerland, 1995.
- [4] Simone Campanini and Angelo Farina. *New Audacity feature: room objective acustical parameters calculation module*. 2020.
- [5] Angelo Farina. *Advancements in impulse response measurements by sine sweeps*. @ Audio Engineering Society Convention 122. Audio Engineering Society, 2007.
- [6] M.R.Schroeder. *New Method of Measuring Reverberation Time*. Bell Telephone Laboratories, 1964.
- [7] Rebecca Stewart and Mark Sandler. *Database of Omnidirectional and B-Format Impulse Responses*. ICASSP 2010, Dallas, Texas, 2010.
- [8] Lawrence M Ward and Priscilla E Greenwood. 1/f noise. *Scholarpedia*, 2(12):1537, 2007.