

# DESARROLLO DE SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE PARÁMETROS ACÚSTICOS ISO 3382

Leandro Di Meo<sup>1</sup>, Valentín Gaglianone<sup>2</sup> y Agustín Sosa Luchter<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero  
dimeo42358@estudiantes.untref.edu.ar

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero  
gaglianone41628@estudiantes.untref.edu.ar

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero  
agustinsosaluchter@gmail.com

**Resumen** — *El siguiente trabajo propone realizar un software modular que permita el cálculo de parámetros acústicos propuestos en la normativa ISO 3382 (UNE-EN ISO 3382, 2010), creando un sistema íntegro que contemple todos los elementos necesarios para una medición in-situ. El lenguaje de programación que se utiliza es Python. Los resultados obtenidos se comparan de forma cualitativa con los resultados que determina la extensión Aurora del software Audacity.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo teórico del parámetro acústico “Tiempo de reverberación” ha sido profundamente estudiado por numerosos autores, entre ellos pueden destacarse W.C. Sabine, Eyring, Millington, Fitzroy y Kuttruff (Sabine, W.C. 1964) (Kuttruff, 2009).

Una presentación clara sobre el modelo de Millington puede encontrarse en el trabajo de L. E. Kinsler (Kinsler L. E. 1982). Para interpretar el modelo propuesto por Fitzroy puede estudiarse el análisis planteado por M. Rettinger (Rettinger M. 1977).

En la actualidad la mayoría de los equipos usualmente empleados para cuantificar el tiempo de reverberación, entregan el parámetro T30, definido en la Norma ISO 3382 según: “Es el tiempo, expresado en segundos, que se requiere para que el nivel de presión sonora disminuya en 60 dB, calculado sobre una recta obtenida de la regresión lineal por mínimos cuadrados de una curva de caída medida desde un nivel 5 dB por debajo del nivel inicial, hasta un nivel de 35 dB inferior a dicho nivel” (UNE-EN ISO 3382, 2010). En este trabajo se desarrollan algunos de los descriptores que permiten caracterizar un recinto cerrado.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Ruido Rosa

El llamado ruido rosa,<sup>es</sup> una señal aleatoria caracterizada por tener igual magnitud de energía en toda banda de octava. De esta manera, presenta una densidad espectral inversamente proporcional a cada frecuencia. Esta característica se refleja en un decaimiento no lineal de 3[dB] por octava

### 2.2. Respuesta al Impulso

La respuesta al impulso de un recinto se define como la evolución en el tiempo de la presión sonora observada en un determinado punto de un recinto dado, como el resultado de la emisión de un impulso de Dirac efectuado en otro punto. En este estudio se evalúa la respuesta al impulso mediante el proceso de convolución entre una grabación de la sala respondiendo a un sine-sweep exponencial y su respectivo filtro inverso.

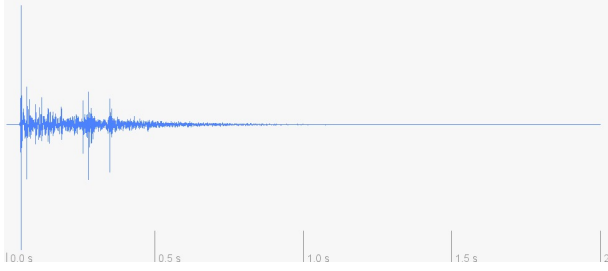


Figura 1: Ejemplo de respuesta impulsiva graficada con el software desarrollado.

### 2.3. Sine-sweep y Filtro inverso

El sine-sweep exponencial es una señal sinusoidal de amplitud constante, cuya frecuencia varía en función del tiempo. 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  $T$  de duración. Su espectro presenta una disminución de  $3[dB]$  por octava. Se define la expresión matemática correspondiente:

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

El filtro inverso consiste la inversión en tiempo del sine-sweep de modo que se obtiene  $x(-t)$ . A su vez conlleva una modulación en amplitud que compensa la diferencia de energía respecto de la señal de entrada original. El filtro inverso  $k(t)$  se define como:

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

El barrido senoidal o sine-sweep que excita al recinto es una señal cuya frecuencia varía exponencialmente como una función de tiempo sobre el rango de interés. Es lo óptimo, ya que a lo largo de su duración se excita una frecuencia a la vez y como consecuencia se eleva la relación señal-ruido. Luego se realiza la convolución con su correspondiente filtro inverso definido por Farina como la señal de entrada en sí misma invertida a lo largo del eje del tiempo.

### 2.4. Tiempo de Reverberación

El Tiempo de Reverberación está definido en la Norma ISO 354 de la siguiente manera: “Es el tiempo necesario para que el nivel de presión sonora disminuya 60 dB después del cese de la fuente”.

En la actualidad la mayoría de los equipos usualmente empleados para cuantificar el mencionado descriptor, entregan el parámetro T30, definido en la Norma ISO 3382 según: “Es el tiempo, expresado en segundos, que se requiere para que el nivel de presión sonora disminuya en 60 dB, calculado sobre una recta obtenida de la regresión

lineal por mínimos cuadrados de una curva de caída medida desde un nivel 5 dB por debajo del nivel inicial, hasta un nivel de 35 dB inferior a dicho nivel” (UNE-EN ISO 3382, 2010).

Este parámetro se expresa en segundos y se puede evaluar en un rango dinámico menor que 60 dB y extrapolar a un tiempo de atenuación de 60 dB. Lo anterior se corresponde con la dificultad de obtener el TR60, debido a que la diferencia entre el ruido de fondo y la señal de excitación es en la mayoría de los casos, menor a 60 dB. Por ello se suele aproximar mediante otros descriptores como el EDT, T30 o T20.

## 3. DESARROLLO DEL CÓDIGO

Se desarrolla un código en el lenguaje de programación Python para realizar el procesamiento de la señal. Como primera medida se utiliza la función `chargar_audio` para incorporar los archivos, en este caso en formato “.wav”. Luego la función `graficoaudio2realiza` un gráfico de la señal cargada. El diagrama de flujo ilustra cómo está estructurado el código.

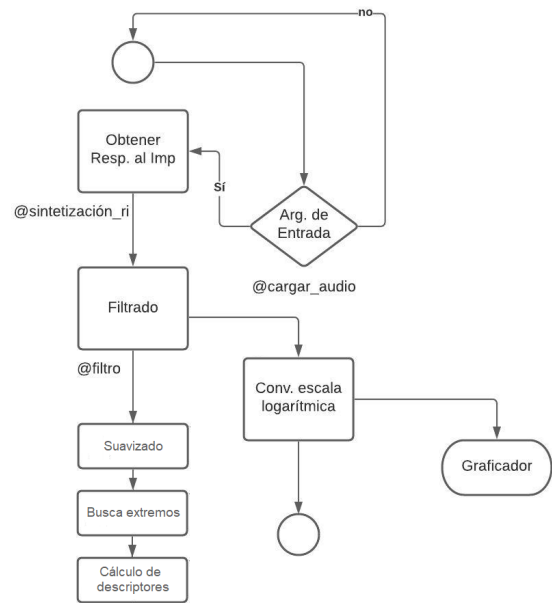


Figura 2: Diagrama de flujo del software.

Luego se crea una función para sintetizar la respuesta al impulso. La misma recibe como parámetro el T60 que se desea obtener, y debe sintetizar una respuesta al impulso considerando las frecuencias centrales de banda de octava y tercio de octava como establece la norma IEC61260 (IEC61260,1995). Luego se obtiene la RI:

$$y(t) = x(t) * h(t) \quad (3)$$

donde  $x(t)$  es el sinesweep logarítmico con el que se excita el recinto,  $y(t)$  es el micrófono de medición y  $h(t)$  es la RI que se busca. Despejando  $h(t)$ , trabajando con propiedades de la convolución, se puede obtener el siguiente resultado [2]

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

Inmediatamente después se utiliza una función que filtra todas las señales en octavas y tercio de octava según la norma IEC61260, con el objetivo de calcular los parámetros acústicos discriminando las frecuencias., y con otra función se convierte a escala logarítmica para poder visualizarla correctamente.

Una vez obtenida la respuesta al impulso se entra en la última fase del cálculo de los descriptores. En primer lugar se realiza el suavizado de la señal. El suavizado es la forma en que descubrimos patrones importantes en nuestros datos mientras omitimos cosas que no son importantes (es decir, ruido). El objetivo del suavizado es producir cambios lentos en el valor para que sea más fácil ver las tendencias en nuestros datos[6]. Para este menester se aplica la Transformada de Hilbert.

Luego se aplica la integral de Schroeder -también conocida como transformada de Schroeder- que permite aproximar el impulso a una señal más adecuada para calcular parámetros acústicos. Esta integral está dada por la siguiente expresión:

$$E(t) = \int_t^\infty p^2(\tau)\delta\tau = \int_0^\infty p^2(\tau)\delta\tau - \int_0^t p^2(\tau)\delta\tau \quad (5)$$

Siendo  $p(t)$  la respuesta al impulso y  $t$  variando de  $t$  tendiendo al infinito hasta el principio de  $p(t)$ . Con objetivo de minimizar la influencia del ruido de fondo en conveniente definir el extremo superior de la integral, en lugar de llevarla hasta el final del audio.

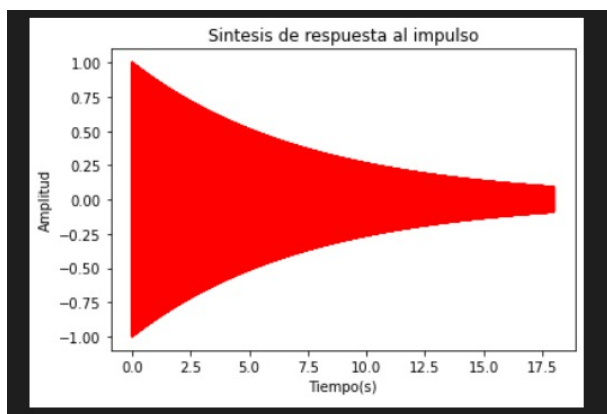


Figura 3: Síntesis de la respuesta al impulso.

Para obtener los descriptores se utiliza una función que traza una recta de regresión lineal por cuadrados mínimos, como se recomienda en el anexo C de la ISO 3382 del año 2008 [1]. La ecuación que describe el algoritmo utilizado se expresa como:

$$a = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (6)$$

$$b = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (7)$$

donde  $a$  es la pendiente de la recta y  $b$  es la ordenada al origen. Por último se desarrolla una función que permite calcular los siguientes parámetros acústicos definidos en la ISO 3382 a partir de la recta aproximada.

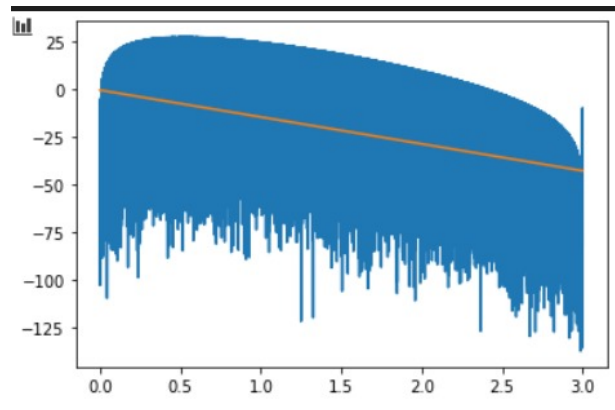


Figura 4: Recta de regresión lineal trazada por el código.

## 4. RESULTADOS

## 5. CONCLUSIONES

El algoritmo desarrollado permite calcular los parámetros acústicos de una sala, y permiten caracterizarla a partir de su respuesta al impulso. Al comparar los resultados del código creado con los resultados arrojados por el software Audacity al efectuar el mismo procedimiento, se observa que hay una diferencia del X, lo que permite validar el algoritmo creado. Las diferencias se deben a que Audacity seguramente utiliza mecanismos más eficientes para determinar las ventanas de la muestra, lo que permite ignorar información que no es relevante en el cálculo de los parámetros acústicos. Estas mejoras al software quedan pendientes para un trabajo futuro.

## 6. REFERENCIAS

[1] ISO 3382:2001. Acoustics Measurements of the Reverberation Time of Rooms with Reference to other Acoustical Parameters. International Organization for Standardization, 2001.

[2] Angelo Farina. Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept sine technique. In Audio Engineering Society Convention 108. Audio Engineering Society, 2000.

[3] Martin Guski, Michael Vorlander .Measurement Uncertainties of Reverberation Time caused by Noise.

[4] IEC 61260:1995, Electroacoustics Octave band and fractional octave band

filters. Standard, International Electrotechnical Commission, february 1995.

[5] Beranek, Leo L. Acoustics, EEUU, American Institute of Physics, Inc., 1996

[6] Kendall, Maurice G., Alan Stuart y J. Keith Ord. .The Advanced Theory of Statistics, Vol. 3: Design and Analysis, and Time-Series 4th Ed. Londres: Macmillan, 1983.