

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

Pedro Ridano<sup>1</sup>, Pedro Alcacer<sup>2</sup>

7 de junio de 2022

Señales & Sistemas, Ingeniería de sonido

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

<sup>1</sup> petafridano@gmail.com, <sup>2</sup> pepoalcacer.97@gmail.com,

## Resumen

*El siguiente trabajo utiliza python como lenguaje de programación para desarrollar un software que permite generar señales como ruido rosa y sine sweep según un tiempo determinado y su respectivo filtro inverso. Además permite el cálculo de la respuesta al impulso y aplicando procesamiento, se logra calcular los parámetros acústicos de un recinto. El software calcula los parámetros pero es necesario reordenar la función de cálculo e parámetros para que sea más ágil.*

**Keywords:** ISO 3382, IR

## 1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se busca obtener los parámetros acústicos de un recinto siguiendo la norma ISO 3382 y compararlos con los parámetros acústicos obtenidos a partir de la sintetización de la respuesta a un impulso. Para ello, se desarrolló un software en Python que permite la carga de archivos de audio, en específico un sine sweep por medio del cual se logra obtener la respuesta al impulso del recinto, por medio de la convolución con su filtro inverso. Una vez obtenida la respuesta al impulso, es posible realizar el cálculo de los parámetros acústicos según la norma.

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1. Ruido Rosa

Es un ruido cuyo nivel de presión sonora está caracterizado por una densidad espectral inversamente proporcional a la frecuencia. Tiene igual nivel en todas las bandas y se suele utilizar para realizar mediciones. [(4)]

### 2.2. Sine sweep

El sine sweep es un barrido en frecuencia que se define a partir de la siguiente ecuación:

$$x(t) = \sin\left(\frac{Tw_1}{\ln\left(\frac{w_1}{w_2}\right)}\left(e^{\frac{t \ln\left(\frac{w_1}{w_2}\right)}{T}} - 1\right)\right) \quad (1)$$

donde  $w_1$  y  $w_2$  son las frecuencias angulares inferior y superior respectivamente y  $T$  el tiempo de duración del sweep.

### 2.3. Filtro inverso

Para generar el filtro inverso se requiere de una modulación  $m(t)$  la cual se define

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

donde:

$$w(t) = \frac{d[\theta(t)]}{dt} = \frac{K}{L} e^{\frac{t}{L}} \quad (3)$$

Entonces el filtro inverso queda definido como:

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

### 2.4. Sintetizado de respuesta al impulso

Recibe como argumento un diccionario cuyas claves son las frecuencias centrales y sus elementos son los T60 correspondientes a cada frecuencia central de banda de octava como establece la norma IEC61260 [(?) ] La función escribe un archivo.wav

llamado "sintetizacion RI.wav" y devuelve un array con la respuesta al impulso sintetizada de valores de T60 definidos para cada frecuencia central y de duración  $t$  segundos.

## 2.5. Respuesta al impulso

La respuesta a un impulso (RI) de un sistema es la que se presenta en la salida cuando en la entrada se introduce un impulso. Las siguiente ecuación define una RI, para una frecuencia central  $f_i$ :

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

$$\pi_i = \frac{-\ln(10^{-3})}{T_{60}} \quad (6)$$

## 2.6. Filtros según norma IEC61260

Esta función recibe un array y filtra la información por bandas de octava o tercios de octava, según las normas IEC61260. La función entrega una lista en la que el primer elemento es la frecuencia central  $f_c$  de la banda que fue filtrada. El segundo elemento es array de la señal filtrada para esa  $f_c$ . El tercer elemento es la respuesta en frecuencia del filtro para esa  $f_c$ . El cuarto elemento es un array con las frecuencias angulares. (3)

## 2.7. Suavizado de la señal por medio de filtro de promedio móvil

Es una técnica de filtrado la cual devuelve un promedio de  $L$  muestras y elimina las fluctuaciones de la señal

$$y[i] = \frac{1}{L} \sum_{j=0}^{L-1} x[i-j] \quad (7)$$

donde  $i$  es la muestra que se esta evaluando,  $x[i]$  la se;al original y por ultimo  $y[i]$  la señal filtrada.

## 2.8. Integral de Schroeder

También conocida como transformada de Schroeder. Permite aproximar el impulso a una señal más adecuada para calcular parámetros acústicos.

$$E(t) = \int_0^\infty p^2(\tau) d\tau - \int_0^t p^2(\tau) d\tau \quad (8)$$

Siendo  $p(\tau)$  la respuesta al impulso y  $t$  variando de  $t \rightarrow \infty$  hasta el principio de  $p(t)$ .

## 2.9. Cuadrados mínimos

Mínimos cuadrados es una técnica de análisis numérico enmarcada dentro de la optimización matemática, en la que, dados un conjunto de pares ordenados, variable independiente, variable dependiente y una familia de funciones, se intenta encontrar la función continua, dentro de dicha familia, que mejor se aproxime a los datos (un "mejor ajuste"), de acuerdo con el criterio de mínimo error cuadrático.

## 2.10. Calculo de parámetros acústicos ISO 3382

### 2.10.1. EDT

El EDT o Early Decay Time, es un parámetro acústico que se ve afectado por las primeras reflexiones y es el tiempo que tarda en caer el nivel de presión sonora 10 dB cuando se apaga la fuente. [(2)]

### 2.10.2. T60

El  $T_{60}$  es el tiempo de reverberación de una sala, se mide en segundos y es el tiempo que tarda en descender 60dB el nivel de presión sonora una vez que se apaga la fuente. [(1)]

### 2.10.3. C80

Es un índice de claridad que relaciona la presión acústica precoz y tardía. El sub índice 80 refiere a 80 milisegundos y se define segun la ecuacion:

$$C_{80} = 10 \log \left( \frac{\int_0^{80} p^2(t) dt}{\int_{80}^\infty p^2(t) dt} \right) dB \quad (9)$$

Donde  $p(t)$  es la presión acústica instantánea de la respuesta impulsiva. [(1)]

### 2.10.4. D50

Es un índice que se relación con la definición, que se define según la ecuación:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_0^\infty p^2(t) dt} \quad (10)$$

Se relaciona directamente con el  $C_{50}$  ya que:

$$C_{50} = 10 \log \left( \frac{D_{50}}{1 - D_{50}} \right) dB \quad (11)$$

[(1)]

### 3. DESARROLLO

En el siguiente [link](#) se puede observar un diagrama de flujo de trabajo, que se utilizó para realizar el trabajo.

#### 3.1. Ruido rosa

A Partir del algoritmo de Voss y Clarke, se generó una función que sintetiza un ruido rosa y tiene como variables de entrada la duración en segundos  $t$  y la frecuencia de muestreo  $f_s$ . La función entrega un array de Numpy con la información del ruido generado y un archivo llamado “ruido\_rosa”.

#### 3.2. Sine sweep

A partir de las ecuaciones (1), (2), (3) y (4), utilizando numpy, se generó una función la cual toma como entrada la frecuencia inferior y superior del sine sweep en Hz y la duración en segundos del mismo. Esta función entrega una tupla de dos elementos, con un Numpy array en cada uno. El primer elemento corresponde al array del sine sweep y el segundo al filtro inverso. Luego se genera un archivo .wav para el sweep y otro para el filtro llamados “sine\_sweep\_t”, “filtro\_inverso”.

#### 3.3. Función de Adquisición y reproducción

Esta función, permite reproducir y grabar un archivo de audio a la vez, utilizando el módulo playrec de la librería sound device. De este modo, es posible reproducir el sine sweep y grabar la respuesta de un recinto. No se logra que el usuario pueda seleccionar el dispositivo de salida ni obtener la latencia de la misma.

#### 3.4. Sintetización de respuesta al impulso

Se utiliza la función para sintetizar la respuesta al impulso de la Usina del Arte, a partir de la información obtenida de [Open Air](#).

#### 3.5. Respuesta al impulso mediante convolución

Se realizó la convolución entre el sine sweep generado y su respectivo filtro inverso, para obtener la respuesta al impulso.

#### 3.6. Conversión a escala logarítmica normalizada

Esta función se utilizó para convertir la señal de entrada a escala logarítmica por medio de la ecuación:

$$R(t) = 20 \log_{10} \frac{A(t)}{A(t)_{max}} \quad (12)$$

#### 3.7. Suavizado de la señal

Se suavizan dos señales, por un lado la respuesta al impulso descargada de Open Air y por otro lado la respuesta al impulso sintetizada. Se utilizó el método de filtro de promedio móvil, a partir de la ecuación (7) y fijando una ventana de 10 muestras. La función recibe un array con la señal de entrada y entrega otro array con la misma señal suavizada.

#### 3.8. Integral de Schroeder

La función recibe como entrada un array con la señal suavizada y entrega un array. Permite calcular una curva de decaimiento más suavizada de la respuesta al impulso para así trabajar con una señal adecuada al momento de calcular los parámetros acústicos. Se aplicó la integral sobre las dos RI, la sintetizada y la descargada.

#### 3.9. Cuadrados mínimos

Como la señal obtenida es una nube de puntos, se utiliza el método de cuadrados mínimos para el cálculo de la regresión lineal y así definir la recta que aproxima esta tendencia.

#### 3.10. Cálculo de parámetros acústicos ISO 3382

El cálculo de los parámetros acústicos se realizó sobre la regresión lineal. En el caso particular del T60, se debe indicar a través de qué método se desea calcular (T10, T20 o T30).

### 4. Resultados

En las figuras (1) y (2), se puede ver el dominio temporal y espectral del ruido rosa generado y el decaimiento característico de 3 dB por banda de octava.

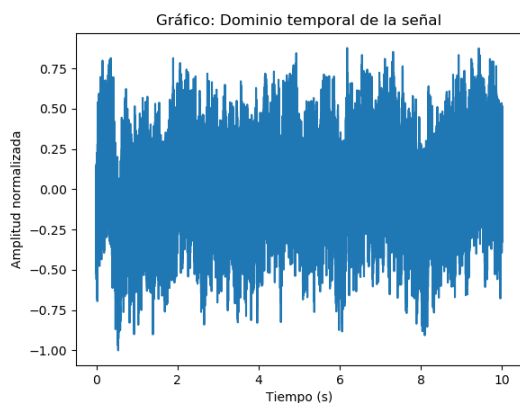


Figura 1: dominio temporal del ruido rosa generado

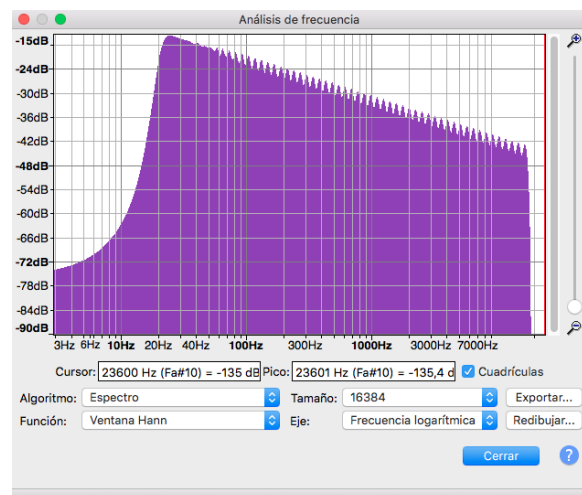


Figura 3: Espectro de Sine Sweep generado

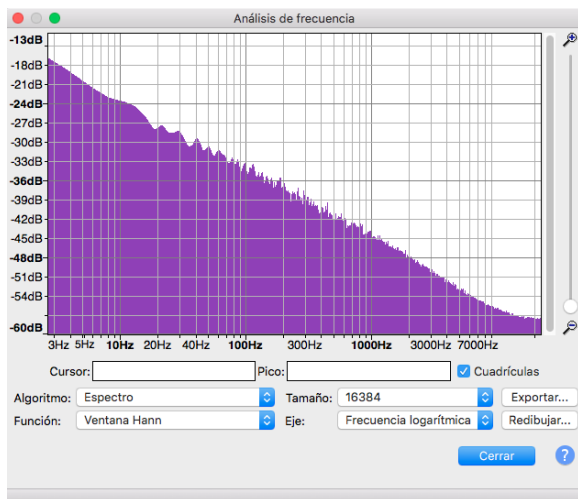


Figura 2: Espectro ruido rosa generado, graficado con adaciti

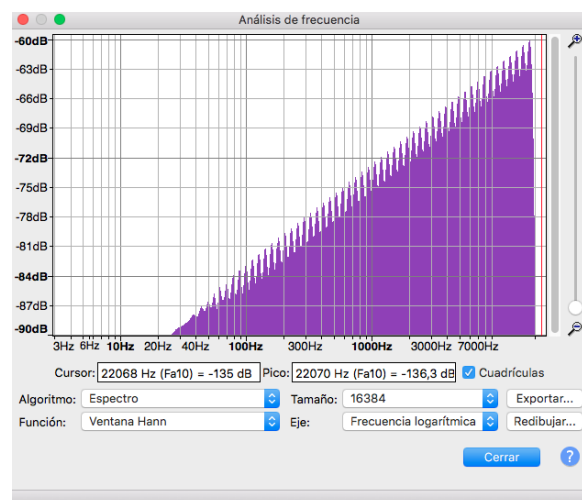


Figura 4: Espectro del filtro inverso para Sine Sweep

Con respecto a la respuesta al impulso obtenida de Open Air, se puede ver la señal en la figura (5).

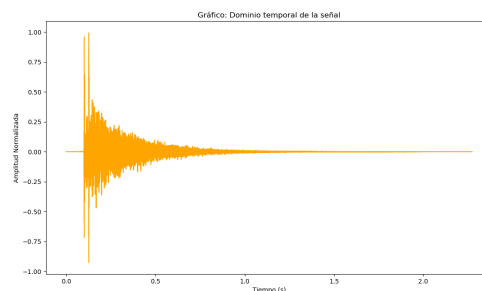


Figura 5: Respuesta al Impulso, Usina del Arte

A su vez, en la figura (3) se puede ver el sine sweep generado y su respectivo filtro inverso en (4).

A su vez, en la figura (6) se ve la respuesta al

impulso sintetizada.

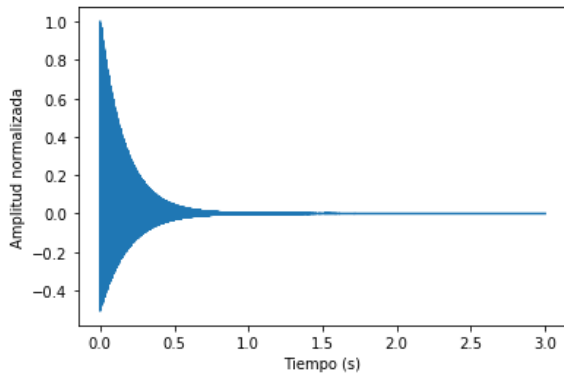


Figura 6: Respuesta al Impulso, Usina del Arte, sintetizada

Al aplicarle el suavizado de la señal se logro obtener el siguiente gráfico:

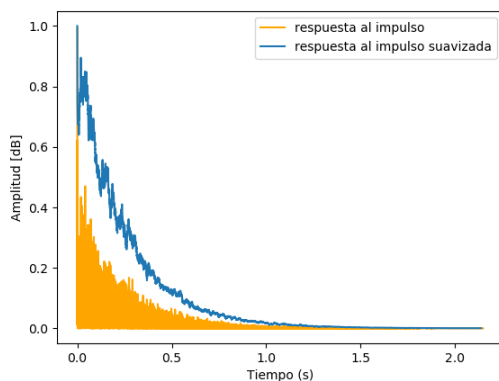


Figura 7: Respuesta al impulso en valor absoluto vs Respuesta al impulso suavizada en valor absoluto

La figura (10) se puede observar la diferencia entre las respuestas.

La figura (8) muestra la respuesta al impulso suavizada y en escala logarítmica. Como se trata de una función exponencial decreciente, cuando se pasa a escala logarítmica se convierte en una lineal decreciente.

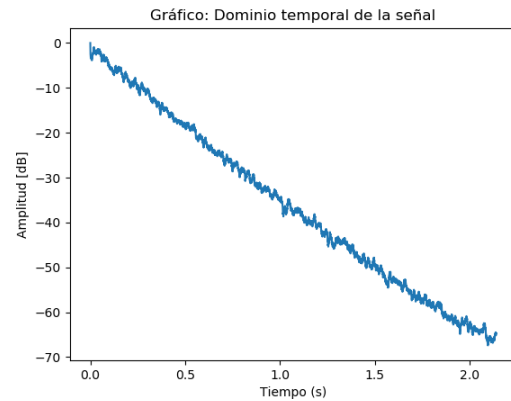


Figura 8: Suavizado de la señal por filtro de media móvil en escala logarítmica

Luego al aplicar la integral de Schroeder se obtiene la figura (10)

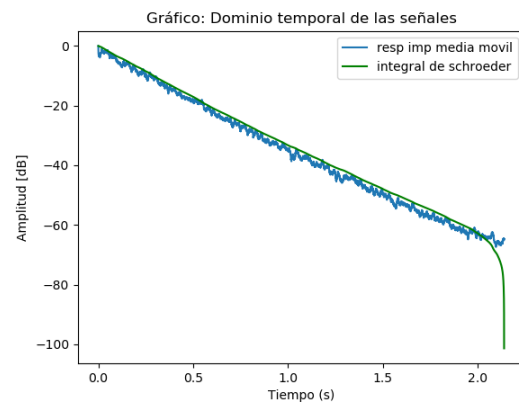


Figura 9: Respuesta al impulso suavizada vs Integral de Schroeder

Por ultimo, se utiliza el método de cuadrados mínimos para calcular la regresión lineal y obtener la recta que mejor ajusta la nueve de puntos.

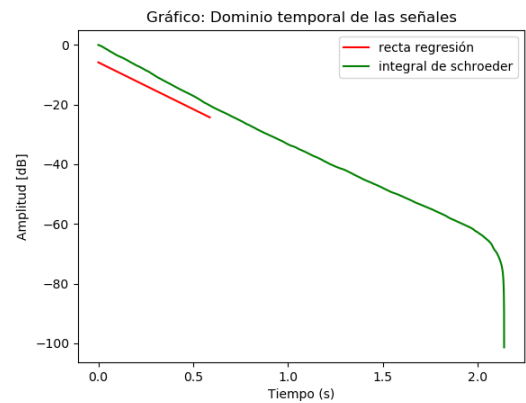


Figura 10: recta obtenida por mínimos cuadrados

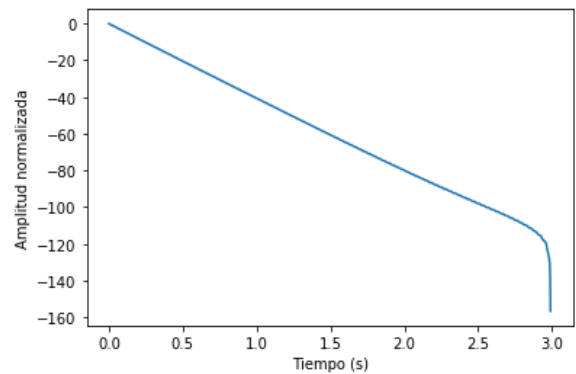


Figura 11: Respuesta al Impulso, Usina del Arte, sintetizada suavizada y aplicando integral de Schroeder

Una realizado cuadrados mínimos, se procedió a obtener los parámetros acústicos utilizando las ecuaciones (9) (10). El TR, se calculo a partir del T30 o T20 o T10 según las necesidades.

Tabla 1: Comparación de parámetro acústico T60.

Parámetro Acústico	T10	T20	T30
T60 a partir del RI descargado	1,8 s	1,4 s	1,7 s
T60 sintetizado	1,45 s	1,46 s	1,47 s
T60 del RI de Open Air (global)	-	-	1,7 s

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)	2.15	1.48	1.63	1.91	2.08	2.09	1.82	1.6	1.18	1.11
Early Decay Time EDT (seconds)	1.83	1.45	1.45	2.34	2.22	1.96	1.83	1.7	1.45	1.19
Definition D50	0.08	0.2	0.4	0.16	0.21	0.29	0.37	0.3	0.33	0.44
Clarity C50 (dB)	-10.33	-6.01	-1.69	-7.33	-5.82	-3.83	-2.34	-3.73	-3.08	-1
Clarity C80 (dB)	-2.99	-3.18	-0.69	-3.02	-3.05	-0.92	-0.36	-0.77	0.13	2.59

Figura 12: tabla de resultados publicada en Open Air

Con respecto a la tabla (1) se calcularon dos valores del parámetro acústico T60. Por un lado el T60 de la respuesta al impulso sintetizada, y por otro lado el T60 de la respuesta al impulso descargada. Entre estos dos valores, viendo la columna del obtenido a partir del T30, se puede observar una diferencia de 0.23 segundos. Al ser una diferencia menor a 0.5 segundos, se la considera aceptable. Se calculó el T60 global de la respuesta al impulso publicada en OpenAir, realizando un promedio entre los valores mostrados en la tabla (12). Así, se comparó el T60 calculado a partir del T30 con el T60 global publicado en Open Air y se pudo observar que es idéntico. De esta comparación se concluye que el programa realizado en python es preciso.

A modo de comentario, cabe mencionar que al momento de realizar la función de adquisición y reproducción de audio, se logro que la misma grabe y reproduzca un archivo de audio al mismo tiempo, pero no se logro medir la latencia o permitir que el usuario seleccione una salida determinada.

5. Conclusiones

En conclusion, se realizo un código en Python en el cual se ingreso la respuesta al impulso de un recinto grabado en la sala con su filtro inverso y se obtuvieron los parámetros acústicos del mismo.

Referencias

[1] A. Tisseyre, Concert Halls and Opera Houses-Acoustic Design. 2009

[2] UNE-ISO 3382, 2010

[3] IEC 61260, Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave-band filters. 1995

[4] Voss, R. F., Clarke, J. (1978). "1/f noise in music: Music from 1/f noise". Journal of the Acoustical Society of America 63: 258-263