

Desarrollo de software para el cálculo de parámetros acústicos ISO 3382

Doce Fausto¹, Falchini Luca², Romeo Martin Sebastian³, Achulli Romulo⁴

12 de mayo de 2020

Señales & Sistemas, Ingeniería de sonido

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

¹ faustodoceinfo@gmail.com, ² lucafalchini@gmail.com, ³ martinsebastianromeo@gmail.com,

⁴ achulli46350@estudiantes.untref.edu.ar,

Resumen

El presente informe expone los avances en el desarrollo de un software para el cálculo de parámetros acústicos como el EDT, T10, T20, T30 o T60. En una primera instancia, se desarrollaron los audios de ruido rosa, Sine Sweep logarítmico y el filtro inverso en referencia a dicho Sine Sweep. En una segunda instancia se utilizaron las características de los audios de Sine Sweep y su filtro inverso generados para sintetizar la respuesta al impulso.

Keywords: ISO 3382, IR

1. Introducción

Para obtener los parámetros acústicos que caracterizan la respuesta de un recinto ante una excitación sonora como puede ser el EDT, T10, T20, T30 o T60, existen diferentes métodos de reproducir un impulso con el objetivo de caracterizar un recinto, entre los cuales se encuentran: explosión de globo, golpe entre maderas, petardos, etc. El problema con estos métodos de reproducción es que carecen de reproducibilidad, es decir, de habilidad de generar cada vez un impulso idéntico independientemente de cuáles sean las condiciones. En este proyecto se desarrollará un software que sea capaz de obtener los parámetros acústicos de un recinto dispuestos en la normativa ISO 3382 por medio de la adquisición y procesamiento de señales digitales a través de la reproducción y manipulación del Sine Sweep.

es el tiempo en el cual el nivel de presión sonora decaiga 60 dB (T60) desde que la emisión fue interrumpida. Con respecto a lo dicho, se puede definir el T20 como tiempo que tarda el sonido en disminuir en intensidad en un 95 %, el decaimiento de -5 dB a -25 dB. Asimismo, el parámetro T30 mide el tiempo que tarda el sonido en decaer en un 97 %, es decir el decaimiento de -5 dB a -35 dB, en base a las normas IEC 61260 y la norma ISO 3382.

2. Marco Teórico

2.1. Tiempo de Reverberación

El tiempo, medido en segundos, de reverberación es un parámetro acústico que describe la duración de la reverberación o el sonido reflejado en un espacio cerrado después de que se detiene la emisión de la fuente de sonido. Más específicamente

2.2. Ruido Rosa

Entiéndase ruido rosa como una señal de valores aleatorios que tiene la característica de contar con la misma cantidad de energía por octava en su distribución frecuencial. Así, en función de reflejar la misma cantidad de energía por octava, el ruido rosa cuenta con un decaimiento de 3 dB por octava.

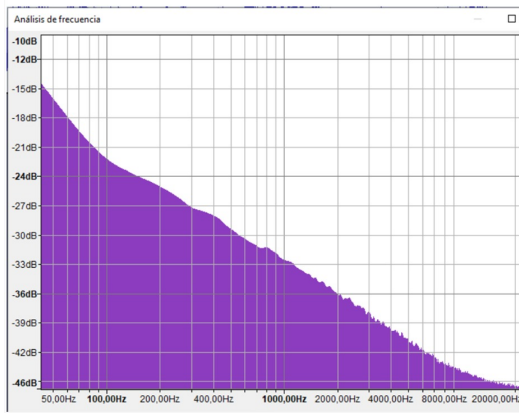


Figura 1: Espectro Ruido Rosa

2.3. Sine Sweep y Filtro Inverso

El sine-sweep, o barrido senoidal, es una señal de audio que varía de frecuencia y exponencialmente en función del tiempo, es decir, que excita en forma ascendente un rango de frecuencias en un tiempo t . Tiene la característica de que su espectro tiene una disminución de 3 dB por octava.

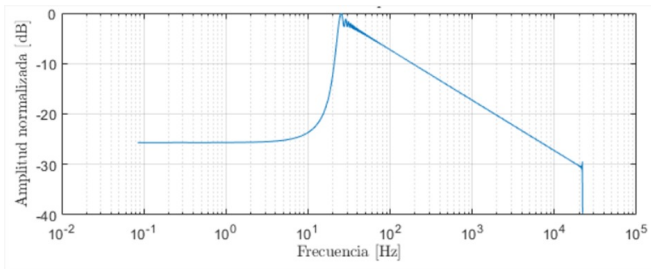


Figura 2: Espectro del Sine Sweep

Asimismo, el filtro inverso asociado con el Sine Sweep se refiere a una técnica utilizada para obtener una respuesta de frecuencia plana y uniforme en un sistema de audio mediante la corrección de la respuesta de frecuencia no uniforme medida a través de un Sine Sweep agregándole una modulación de amplitud para compensar diferencias de energía generada en bajas y altas frecuencias.

¹(<https://github.com/AllenDowney/ThinkDSP/blob/master/code/voss.ipynb>)

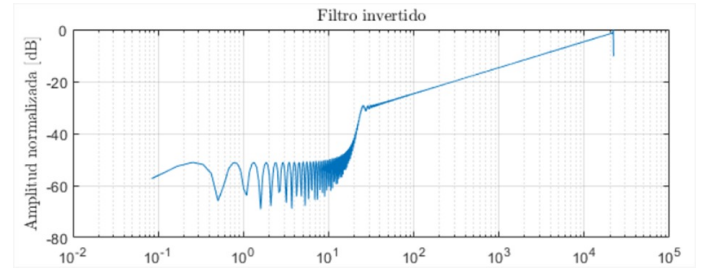


Figura 3: Espectro del filtro inverso

Se puede notar la inversión en el comportamiento de la amplitud a medida que aumenta la frecuencia en las figuras 2 y 3.

2.4. Respuesta al Impulso

La respuesta al impulso de un recinto es el comportamiento en el tiempo con respecto a la presión sonora que una sala tiene luego de ser excitada por un impulso. Este impulso tiene la característica de contener toda la energía del mismo en un punto de tiempo cero. Se define como:

$$\delta(x) = \begin{cases} \infty, & \text{si } x = 0 \\ 0, & \text{si } x \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

Se podrá obtener la respuesta al impulso de un recinto convolucionando la grabación del audio Sine Sweep dentro de la sala y su filtro inverso asociado.

3. Desarrollo

3.1. Generación de ruido rosa

Para la generación de ruido utilizamos el algoritmo de Voss y Clarke ¹, sabiendo que la duración del audio de ruido rosa será la frecuencia de muestreo f_s por el tiempo t de la misma que concluirá en la longitud de la señal. Dicho algoritmo genera aleatoriamente un valor de amplitud entre -1 y 1 normalizado con una distribución en frecuencia como la de la figura 1.

3.2. Generación de Sine Sweep logarítmico

La ecuación de un Sine Sweep Logarítmico está dada por:

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

donde se definen:

$$K = \frac{Tw_1}{R} \quad (3)$$

$$L = \frac{T}{R} \quad (4)$$

$$R = \ln\left(\frac{w_2}{w_1}\right) \quad (5)$$

en donde w_1 y w_2 serán las frecuencias angulares inferior y superior y donde T será el tiempo de duración del sine sweep en segundos. Se utilizó la librería Numpy definiéndose así una función que tiene una entrada de la frecuencia inferior y superior del Sine Sweep y la duración en segundos del mismo. Se configuró una frecuencia de muestreo de 44100 Hz común para todos los casos. Una vez definido en Sine Sweep logarítmico, se pudo plantear el desarrollo del filtro inverso como una función invertida de la ecuación 2.

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

Sin embargo fue necesario tomar en cuenta que el Sine Sweep logarítmico tiene un decaimiento de -3 dB/octava, al igual que el ruido rosa. Esto quiere decir que la energía no se distribuye uniformemente a través de todas las frecuencias de reproducción, de allí el comportamiento logarítmico del mismo. Así, se debe compensar dicho decaimiento con un aumento en 3 dB/octava en su filtro inverso. Así, la ecuación 6 se suplantó por:

$$k(t) = m(t)x(-t) \quad (7)$$

donde

$$m(t) = \frac{w_1}{2\pi w(t)} \quad (8)$$

$$\frac{K}{L} = e^{\frac{t}{L}} \quad (9)$$

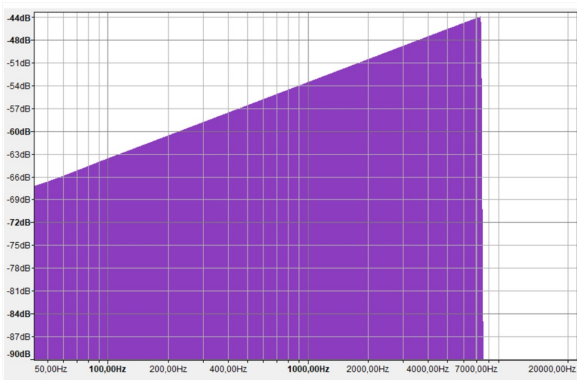


Figura 4: Filtro Inverso Amplitud vs Tiempo

²(https://www.openair.hosted.york.ac.uk/?page_id=435)

En el gráfico 4 de amplitud con respecto a la frecuencia se puede notar cómo la amplitud, y por lo tanto la energía distribuida a través del filtro inverso, varía ascendentemente con respecto a la frecuencia.

3.3. Sintetización de Respuesta al Impulso

Realizamos una función capaz de generar una respuesta al impulso recibiendo como parámetro inicial el T60 particular de un recinto. Este parámetro dará cuenta de su comportamiento particular en términos de reverberación y, una vez sintetizado con un impulso, se obtuvo una respuesta al impulso que pretende simular la respuesta al impulso del recinto. Para ésta prueba se utilizó el T60 del Salon Principal de la Universidad de Nueva York ². Utilizando la librería Numpy, definimos la respuesta al impulso para una frecuencia variable f_i :

$$y_i = A_i e^{\tau_i t} \cos(2\pi f_i t) \quad (10)$$

donde se definió la amplitud $A_i = 1$. Además, τ_i corresponde al decaimiento exponencial que define, para cada $T60_i$ correspondiente a cada f_i , el comportamiento en reverberación del recinto.

$$\tau_{60i} = -\frac{\ln(10^{-3})}{T_{60i}} \quad (11)$$

Finalmente, sumamos todas las respuestas al impulso de cada frecuencia centrales f_i devenidos de la ecuación 10 para generar una aproximación de la respuesta al impulso total del recinto mediante la ecuación 12.

$$y = \sum_{i=1}^n y_i \quad (12)$$

donde n será la cantidad de frecuencias centrales que contenga el T60.

3.4. Obtención de la Respuesta al Impulso

A partir de un recinto excitado por una señal Sine Sweep logarítmica $x(t)$, es posible obtener una respuesta $y(t)$ al grabar dicho Sine Sweep dentro del recinto. Para llegar a la respuesta al impulso $h(t)$ del recinto se utilizó la siguiente ecuación:

$$h(t) = y(t) * x(-t) \quad (13)$$

en la cual $x(-t)$ será el filtro inverso. Así, se convolucionó el Sine Sweep grabado dentro del recinto

con su filtro inverso utilizando la librería Scipy para concluir en la respuesta al impulso del recinto $h(t)$.

4. Resultados y Análisis

5. Conclusiones

6. Referencias