

# Desarrollo de Software para el cálculo de parámetros acústicos según ISO 3382

Casas Nahuel<sup>1</sup>, Pantano Lucas<sup>2</sup>, Robledo Juan<sup>3</sup>

Señales y Sistemas, Ingeniería de Sonido

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

<sup>1</sup> nahuel0697@gmail.com, <sup>2</sup> lukas.pantano@gmail.com, <sup>3</sup> robledojuanm@gmail.com

## Resumen

*En el siguiente informe se describe el desarrollo de un software modular, el cual permite analizar los parámetros acústicos de tiempo EDT, T10, T20 y T30; de claridad C80 y de definición D50, teniendo en cuenta las indicaciones de la normativa ISO 3382 (UNE-EN ISO 3382,2001). Para esto, se desarrollan las herramientas necesarias para la grabación y generación sintética de sine sweep; además de la adquisición de la respuesta impulsiva (IR) de ciertos parámetros en función a su ancho de banda de frecuencia, aplicándose a la misma métodos de filtrado y suavizado de la señal. Se realizan comparativas de resultados con otros softwares en el mercado, y se observa una correlación en algunos de los resultados obtenidos.*

**Keywords:** ISO3382, IEC61200, Tiempo de Reverberación, Respuesta al Impulso

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del presente trabajo, es lograr el análisis mediante diversos métodos matemáticos y digitales de ciertos parámetros acústicos, aplicando conceptos teóricos y comparándolos con los resultados otorgados, dentro del entorno de programación MATLAB.

El software desarrollado divide sus tareas en tres etapas de trabajo: adquisición (grabación y reproducción de una señal, importación de archivos externos al sistema), procesamiento (filtrado y suavizado de la señal, por medio de diferentes métodos) y resultados (cálculo de parámetros e interfaz gráfica). Las técnicas y análisis cuantitativos aplicados se encuentran regularizados bajo la norma ISO 3382 (UNE-EN ISO 3382,2001) [1].

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Sine-sweep y filtro inverso

El sine-sweep exponencial es una señal sinusoidal cuya frecuencia varía en función del tiempo, manteniendo constante su energía. Es caracterizado por excitar una frecuencia a la vez de manera ascendente, además de por su espectro que presenta una disminución de 3 [dB] por octava.

El filtro inverso consiste en la inversión en tiempo del Sine-Sweep. A su vez, conlleva una modulación en amplitud que compensa la diferencia de energías respecto de la señal de entrada original.

### 2.2. Índices de definición y claridad

Se define al D50 como la relación entre la energía recibida en los primeros 50 ms a partir de la emisión del sonido directo y la energía total. Se correlaciona con la inteligibilidad de la palabra en un recinto. Según los criterios tomados como referencia para música y palabra el valor de D50 debería estar comprendido entre el 50 y el 65 por ciento.

El C80 es un descriptor que representa la relación logarítmica entre la energía inicial en los primeros 80 ms y la superior a ese tiempo. Como criterio general amplio se puede adoptar para música y palabra un entorno aconsejado entre -4 a 0dB [2].

### 2.3. Índices de tiempo de reverberación

Se define el tiempo de reverberación RT60 como el tiempo que debe transcurrir para que el nivel de presión sonora (SPL) decaiga 60 dB. Debido a la dificultad de calcularlo por los bajos niveles de ruido que se requiere, se calcula el T10, T20 y T30, y se los extrapolan hasta obtener el T60. Estos paráme-

tros se estiman luego de la primer caída de 5 dB de la señal [3].

El EDT (Early Decay Time), se define como el tiempo que tarda en decaer 10 dB la presión sonora desde el momento en que la fuente deja de emitir.

### 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El software cuenta con tres etapas de trabajo, las cuales son: adquisición, procesamiento y resultados.

A través del diagrama de flujo de la Figura 1, se observa en que etapa se desarrolla cada función y como se concatenan entre sí.

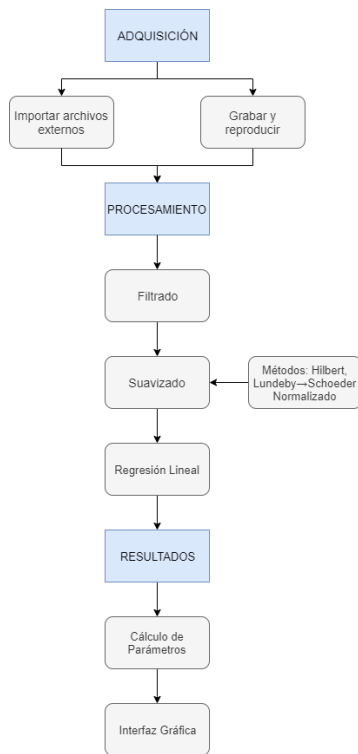


Figura 1: Diagrama de flujo del procedimiento de trabajo realizado por el software.

#### 3.1. Adquisición

Existen dos entradas de señal para el sistema. Se ofrece la posibilidad de grabar varias tomas de un barrido de frecuencia, para obtener un promedio muestral, que luego se convolucionan con el mismo barrido sintetizado, pero con un filtro inverso aplicado. De este modo se genera un IR con todas las reflexiones de la sala captadas. Además, se pueden importar archivos de audio externos que contengan el IR de la sala a analizar.

Se utilizan las respuestas al impulso proporcionadas por *isophonics.net* del Octagono, una estructura que actualmente funciona como sede de conferencia[4]. Los archivos de Sine Sweep grabados que se utilizan son proporcionados por los docentes de la materia Señales y Sistemas, de la Universidad Nacional de Tres de Febrero.

#### 3.2. Procesamiento

Por normativa ISO 3382, para el análisis de ingeniería y de precisión, el rango de frecuencias utilizado debe cubrir al menos 125Hz a 4000Hz en bandas de octava, y 100Hz a 5000Hz en bandas de un tercio de octava. El presente trabajo extiende los límites trabajando desde 125 a 8000 Hz para bandas de octava y de tercio de octava.

Se diseñan filtros del tipo pasabanda de orden 6 por cada frecuencia central dispuesta por la norma IEC 61260, siendo de 7 filtros para el caso de octava, y 19 para el caso de tercios de octava [5]. Se genera un banco con los coeficientes de los filtros en una variable de clase Cell<sup>1</sup> (Celda).

El suavizado de la señal consiste en la aplicación de la transformada de Hilbert a la señal, luego es filtrada por promedio móvil, y finalmente es procesada por la integral de Schroeder[6]. Para establecer el extremo superior de la integral de Schroeder, se utiliza la función Lundeby. Con la señal suavizada, se observa la envolvente de la señal con todas sus pendientes de caída de amplitud. Finalmente se normaliza la señal para que se tome el máximo nivel alcanzado como 0 dB para tener una referencia en los caucos de caída de nivel. A la señal suavizada se le realiza una regresión lineal por cuadrados mínimos para obtener la pendiente de caída de toda la señal.

#### 3.3. Resultados

Los parámetros acústicos se calculan por definición de la Normativa ISO 3382. Para esto, se determina el valor de EDT como el tiempo que tarda en caer la señal de 0 dB a -10 dB, T10 como el tiempo que tarda en caer la señal de -5 dB a -15 dB, T20 como el tiempo que tarda en caer la señal de -5 dB a -25 dB, y T30 como el tiempo que tarda en caer la señal de -5 dB a -35 dB. Además se calculan los Índices de Definición (D50) y Claridad (C80).

El D50 es un descriptor asociado a la inteligibilidad de la palabra. Se conoce como la relación entre la energía recibida en los primeros 50 ms a partir de la emisión del sonido directo y la energía total; siendo esta duración de 50ms debido a estar

<sup>1</sup>Un arreglo de celdas es un tipo de dato con contenedores de datos indexados

definido como el límite de perceptibilidad respecto de la palabra hablada.

El C80 representa la relación logarítmica entre la energía inicial en los primeros 80 ms y la superior a ese tiempo. Un valor de C80 alto significa que la energía sonora inmediata es muy superior a la tardía, lo que implica que el sonido es muy claro<sup>4</sup>.

Finalmente, todos los parámetros acústicos calculados son volcados en una tabla, así como los ploteos de la señal suavizada y su correspondiente regresión lineal, son concatenados por medio de GUI<sup>2</sup>, para ser presentados en función a los requerimientos provistos por el usuario, a través de la pantalla principal de la interfaz gráfica,

## 4. RESULTADOS

En la Figura 2 se observa el análisis espectral realizado en *Audacity* para el ruido rosa sintetizado, y su caída de 3 dB por Octava.

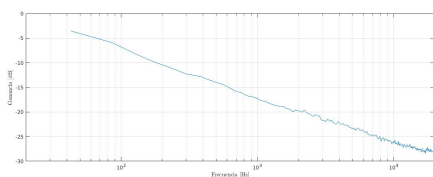


Figura 2: Ruido Rosa con una pendiente de 3 dB/Octava.

La aplicación de adquisición y reproducción simultánea experimenta una pérdida de 1024 muestras, producto de una demora de 0,023 segundos en iniciar el grabador. Este error puede considerarse insignificante, para los cálculos comprendidos.

En la Figura 3 se detalla la respuesta del filtro, usando la frecuencia central de 1 kHz como ejemplo.

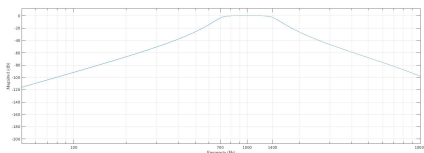


Figura 3: Filtro de banda de octava en 1000 Hz

Para validar la aproximación de los resultados obtenidos con el programa desarrollado, se comparan los valores de EDT, T20, T30, C80 y D50 de cada banda de octava, con los datos obtenidos utilizando la extensión del programa REW

(Room Equilizer Wizard). La selección de este software comercial se debe por ser un programa diseñado específicamente para el análisis de parámetros acústicos en salas. En la Tabla 1 se observan los resultados calculados por el software desarrollado, mientras que en la Tabla 2, los proporcionados por el programa REW.

Tabla 1:  
Cálculo de parámetros acústicos por software

Frec.	EDT	T10	T20	T30	C80	D50
125	5.819	8.643	5.312	3.583	0.714	48.84
250	0.133	0,964	1.613	1.517	11.576	92.93
500	0.624	1,922	2.375	2.122	8.296	86.81
1000	0.272	1,917	2.595	2.310	9.024	88.64
2000	0.025	1,011	1.908	1.766	10.558	91.83
4000	0.024	0,882	1.464	1.369	10.793	92.23
8000	0.002	0,590	0.887	0.837	13.191	95.34

Tabla 2: Cálculo de parámetros acústicos por programa comercial REW

Frec.	EDT	T20	T30	C80	D50
125	14.021	2.661	2.373	-3.49	25.4
250	0.168	2.037	2.203	12.75	94.6
500	1.668	2.831	2.882	10.20	91.0
1000	3.552	3.319	3.230	8.72	87.9
2000	0.038	2.510	2.765	10.76	92.2
4000	0.058	1.993	2.159	10.92	92.4
8000	0.089	1.249	1.249	13.55	95.7

A su vez, se analiza modularmente la señal suavizada, producto del método por integral de Schoeder. En la Figura 4, se aprecia dicha curva generada por el software desarrollado; y la generada por el programa comercial REW en la Figura 5, respectivamente. Dichas gráficas son representativas, teniendo en cuenta que el método de Schoeder implica la última etapa de la función de suavizado de nuestro sistema.

Cabe aclarar que, tanto los análisis por tabla como las gráficas anteriormente presentadas corresponden al análisis de una respuesta al impulso singular, dentro del banco IR generado en la etapa de Adquisición.

<sup>2</sup>Graphic User Interface

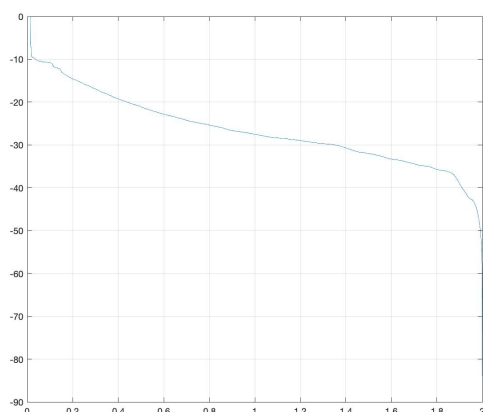


Figura 4: Integral de Schoeder desarrollada por software.

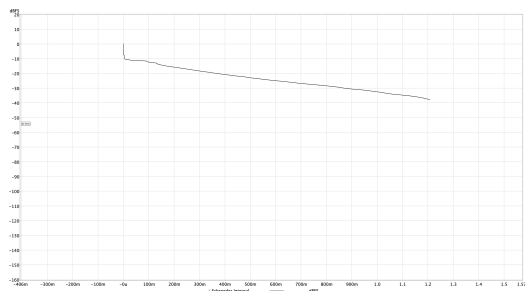


Figura 5: Integral de Schoeder desarrollada por programa comercial REW.

## 5. DISCUSIONES

Si bien se cuenta con RI sintetizadas para el debugging del software, se optó por realizar el testeo de las funciones mediante la descarga archivos de audio con impulsos grabados y su comparación con software comercial.

Para el cálculo de los parámetros acústicos no se utilizó la función de regresión lineal generada, en vistas que se obtuvieron resultados bastante deseado con otros cálculos. El principal problema que introdujo la función Lundeby fue el recorte de la señal

en algunas muestras, obteniendo valores muy bajos que impedían realizar el cálculo de los parámetros. Debido a este inconveniente, se realiza la integral de Schroeder en toda la señal, y no en los límites recomendados por Lundeby.

Respecto a la calibración temporal en la función de adquisición y reproducción simultánea, se decide efectuarla para una única computadora, con driver ALSA, para optimizar tiempo de desarrollo de software y enfocarlo en el estudio del recinto, y no del computador en sí. Sin embargo, no se descarta la propuesta de extender el funcionamiento del programa a demás computadoras que trabajen con otros tipos de drivers.

## 6. CONCLUSIONES

Los valores obtenidos de los descriptores acústicos, se consideran, a partir de distintas pruebas preliminares, que son acertadas. Sin embargo, cabe destacar que ciertos valores presentan un error, y que la mejora de dichos valores se encuentra todavía en desarrollo.

## Referencias

- [1] ISO.3382:1997. *Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters*. 1997.
- [2] L Beranek. *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture (2a. ed.)*. New York (USA), 2003.
- [3] DSP Stack Exchange. *Calculation of Reverberation Time (RT60) from the Impulse Response*.
- [4] <http://isophonics.net/content/room-impulse-response-data-set>.
- [5] CEI. 61260:2001. *Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave-band filters*. 2001.
- [6] M.R. Schroeder. *New Method of Measuring Reverberation Time*. JASA, 1965.