

## **SEÑALES Y SISTEMAS**

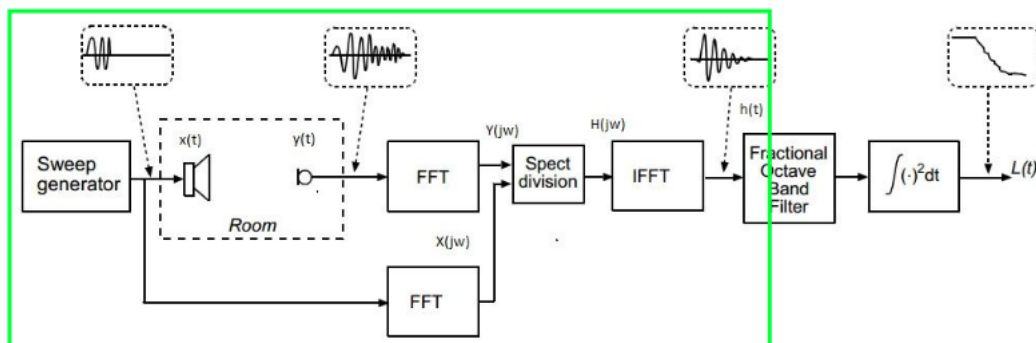
### **Trabajo Práctico 2**

Octubre 2022

## Primera parte: Medición in-situ

El estudio acústico de recintos usualmente requiere de la realización de mediciones in-situ. Se plantea la situación de querer obtener una descripción acústica de un aula de clases de la Universidad Nacional de Tres de Febrero. Para ello, se necesita realizar una medición in-situ de la respuesta al impulso de dicho recinto, utilizando el método normado de barrido frecuencial [1] [2].

Se deberá proceder según los lineamientos de las normativas correspondientes para ubicar un sistema de medición dentro del recinto de clases (fuente, micrófono, sistema de reproducción y grabación de audio, etc). Con esto, se deberán registrar las mediciones necesarias para la obtención de la respuesta al impulso del recinto por el método del barrido frecuencial (mas de esto en la parte tres). Luego, se deberán realizar las mediciones necesarias para la validación de nivel de la fuente (mas de esto en la parte dos). A continuación se muestra el esquema charlado en clase para la obtención de la respuesta al impulso.



**Figura 1: Diagrama de obtención de parámetros acústicos de un recinto. El recuadro verde indica el proceso hasta el punto de obtención de la respuesta al impulso  $h(t)$**

Adicionalmente, se deberán registrar todos los datos pertinentes para la confección de un informe técnico. Esto incluye el relevamiento del recinto (plano con medidas generales), materiales de las superficies, capacidad, etc.

La medición se realizará el día miércoles 26/10 en el taller de Ingeniería de Sonido ubicado en la sede Caseros II, durante el horario de clases. El listado de equipamiento disponible para ese día es el siguiente:

- Parlante potenciado JBL EON 515XT

- Placa de Sonido RME UCX
- Medidor de distancia Laser BOSCH DLE 70
- Sonómetros Svantek SVAN 959 con calibrador (2 unidades)
- Micrófono de Medición Earthworks M50 (2 unidades)

La correcta planificación y ejecución de la jornada de medición esta íntegramente a cargo de los estudiantes, siendo este un aspecto clave y decisivo para el correcto desarrollo de sus trabajos prácticos. La planificación, organización y realización de la jornada de medición es un aspecto a ser evaluado por igual para todos los grupos, por lo que influirá de igual manera en la nota final de todos los estudiantes. La cátedra sugiere la siguiente división de tareas:

- Estudio de las normativas y confección de una guía paso a paso para realizar las mediciones. Esto incluye definir qué medir, cómo medir, cuanto medir, qué hacer en caso de tener contratiempos (fallas de equipamiento, límite de tiempo, etc).
- Estudio del equipamiento, preparación de los audios a reproducir y de las sesiones de grabación.
- Relevamiento del recinto, y mediciones de variables de entorno. Uso de sonómetro.

## **Segunda parte: Análisis espectral**

Comúnmente, dentro de los recintos se cuenta con un determinado nivel de piso de ruido que interfiere con las señales acústicas utilizadas para las mediciones. Entonces, es necesario realizar un análisis previo a la etapa de medición propiamente dicha, en el cual se pueda asegurar que el nivel de piso de ruido esta lo suficientemente alejado del nivel producido por el sistema utilizado para la medición.

La normativa menciona que debe poder asegurarse que la fuente emisora sea capaz de producir un determinado nivel por encima del nivel de piso de ruido para poder tomar como válidos los registros realizados. Entonces, manteniendo el sistema en las mismas condiciones en las que fué utilizado para medir las respuestas al impulso (ganancias, sistema de grabación, posiciones micrófono-fuente), se propone realizar 3 mediciones adicionales

- 5 segundos de grabación de ruido de fondo.
- 5 segundos de grabación de la fuente emitiendo ruido rosa.
- 5 segundos de grabación de la señal del calibrador.

El calibrador es un instrumento utilizado para tener una referencia fiable de nivel de presión sonora. En resumen, el calibrador es un dispositivo que emite un tono de 1 KHz a un nivel de presión sonora de 1 Pa, es decir, 94 dB SPL.

Adicionalmente, se debe medir tanto el ruido de fondo como el ruido de la fuente utilizando el sonómetro, ubicándolo en la misma posición que el micrófono.

## 2.1 Consignas

- (a) Partiendo de estas tres señales de audio, determine la manera de obtener curvas de nivel de presión sonora en función del tiempo, tanto para el ruido de fondo como para el ruido rosa.
- (b) Diseñe un banco de filtros de octava y un banco de filtros de tercio de octava según la norma ISO 61260 [3].
- (c) Filtrar las señales de ruido rosa y de ruido de fondo utilizando los bancos de filtros anteriormente creados. Luego obtener los niveles equivalentes por banda. Finalmente, confeccionar gráficos de barras en donde se comparen los niveles equivalentes por bandas para las dos señales (un gráfico para divisiones de octava, y otro para divisiones de tercio de octava).
- (d) Comparar estos resultados con los obtenidos utilizando el sonómetro. Enumerar conclusiones sobre las mediciones.

## Tercera parte: Obtención de respuesta al impulso

Como vimos en clase, el método estándar para obtener respuestas al impulso de recintos es el de la deconvolución de un barrido frecuencial (sine-sweep)[4] que se repasa a continuación.

Supongamos que un recinto es excitado por una señal  $x(t)$  que corresponde a un sinesweep. La respuesta al impulso (de ahora en mas RI) puede ser obtenida si realizamos la deconvolución de la señal de salida.

$$y(t) = x(t) * h(t) \quad (1)$$

donde  $y(t)$  es la señal adquirida y  $h(t)$  es la respuesta al impulso del recinto. A partir de la propiedad de convolución de la Transformada de Fourier:

$$x(t) * h(t) = X(j\omega)H(j\omega) \quad (2)$$

$$\frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = H(j\omega) \quad (3)$$

$$F^{-1}[H(j\omega)] = h(t) \quad (4)$$

La ecuación 3 es válida si  $X(j\omega)$  es distinta de cero dentro del rango de frecuencia de interés. Si  $x(t)$  tiene un espectro conocido  $X(j\omega)$  se calcula una sola vez y se aplica a todas las mediciones. Si buscamos otra expresión para la ecuación 3 vemos que

$$Y(j\omega)X(j\omega)^{-1} = H(j\omega) \quad (5)$$

$$X(j\omega)^{-1} \in \mathbb{C} \Rightarrow X(j\omega)^{-1} = (e^{i\theta(j\omega)})^{-1} = \overline{X(j\omega)} \quad (6)$$

$$Y(j\omega)\overline{X(j\omega)} = H(j\omega) \quad (7)$$

$$y(t) * x(-t) = h(t) \quad (8)$$

La ecuación 6 es válida si el módulo de la transformada en el rango de estudio (usualmente de 22 a 22 kHz) es 1, pero como veremos a continuación para asumir esta igualdad es necesario una compensación. La ecuación 8 surge de la antitransformada de  $\overline{X(j\omega)}$ . De esta manera el problema se limita a obtener  $y(t)$  del recinto (sine-sweep, grabado) y realizar la convolución con  $x(-t)$  (sine-sweep original, invertido en el tiempo, también conocido como filtro inverso). Para un sine-sweep lineal, el proceso termina aquí, pero a nosotros nos interesa un barrido logarítmico dado que las bajas frecuencias requieren un mayor tiempo que las altas frecuencias. Por lo cual hay que modificar un poco  $x(-t)$ . En un primer lugar, para generar  $x(t)$  siendo este ahora un sine-sweep logarítmico, seguimos la expresión:

$$x(t) = \sin(\theta(t)) = \sin(K.(e^{\frac{t}{L}} - 1)) \quad (9)$$

donde

$$K = \frac{T\omega_q}{\ln(\frac{\omega_2}{\omega_1})}, L = \frac{T}{\ln(\frac{\omega_2}{\omega_1})} \quad (10)$$

con  $\omega_1$  y  $\omega_2$  las frecuencias angulares inferior y superior respectivamente.  $T$  es el tiempo de duración del sine-sweep en segundos. Si estudiamos la energía de la señal de la ecuación 9, se observa que el espectro no es plano, sino que disminuye a razón de -3 dB por octava, como el ruido rosa. De modo que el espectro de  $x_{-t}$  debe ser ajustado, aumentado en 3 dB por octava, de modo que cuando realizamos el cálculo de la ecuación 8, restaura la plenitud perfecta de la respuesta de impulso medida  $h(t)$  [2] y lograr de esta manera que la ecuación 6 sea válida. La modulación  $m(t)$  se obtiene de la frecuencia instantánea (dado que la amplitud cambia en función de la frecuencia), calculada a partir de la ecuación 9 como:

$$w(t) = \frac{d[\theta(t)]}{dt} = \frac{K}{L} e^{\frac{t}{L}} \quad (11)$$

$$m(t) = \frac{w_1}{w(t)} \quad (12)$$

$$k(t) = m(t)x(-t) \quad (13)$$

$$h(t) = F^{-1}[H(j\omega)] = F^{-1}[Y(j\omega)K(j\omega)] \quad (14)$$

De esta manera se obtiene la respuesta al impulso buscada.

### 3.1 Consignas

- (a) Confeccione los algoritmos necesarios para generar un sinesweep y su respectivo filtro inverso.
- (b) Confeccione un sinesweep determinando los parámetros considerando el tipo de evaluación a realizar.
- (c) Obtenga en la etapa de medición la grabación del sinesweep dentro del recinto.
- (d) Obtener la respuesta al impulso utilizando los datos obtenidos e interpretando el desarrollo teórico.
- (e) Auralizar una grabación anecóica utilizando la respuesta al impulso obtenida. Sacar conclusiones.

## Cuarta parte: Muestreo

Como sabemos, el muestreo es el proceso mediante el cual llevamos una señal del dominio continuo al dominio discreto. En este proceso debemos tener ciertas consideraciones para conservar la información que transporta la señal. Como vimos, la frecuencia máxima que podemos representar, y la frecuencia temporal con la que tomamos las muestras se relacionan estrechamente. Una mala elección de la frecuencia de muestreo puede generar la aparición de artefactos indeseados en un proceso que denominamos aliasing.

### 4.1 Consignas

- (a) Cree una función que permita generar una señal de salida que sea el resultado de sumar señales senoidales de diferentes frecuencias. De esta forma, los argumentos de entrada deberán incluir como mínimo:
  - Frecuencias de las senoidales a sumar
  - Frecuencia de muestro
  - Duración de las señales
- (b) Genere señales senoidales de 100, 150, 300 y 500 Hz de un segundo de duración, primero utilizando una frecuencia de muestreo de 400 muestras por segundo, y luego una frecuencia de 4000 muestras por segundo. Para ambas situaciones, grafique los resultados en tiempo y frecuencia. Interprete los resultados y justifique lo que ocurre.



## Presentación y Entrega

### 5.1 Presentación en clase

La presentación debe realizarse necesariamente utilizando un notebook (archivo formato .npy) el cual debe estar dividido por secciones acorde a cada parte del trabajo. **No hace falta que todo el código realizado esté escrito en el mismo notebook.** Pueden (y deben) crear scripts para guardar las funciones que hayan creado, y llamar a estas funciones desde el notebook. La organización y segmentación de los archivos de código queda a su criterio. Recuerden que el notebook es un documento para utilizar como soporte durante la presentación, al igual que una presentación de power-point o un póster. Es decir que este debe incluir toda la información necesaria o relevante para la presentación (definiciones, imágenes, tablas, valores importantes, puntos destacados, audios, esquemas, etc.)

Cada grupo contará con **15 minutos cronometrados** para realizar la exposición. Ningún grupo podrá extender su presentación por ningún motivo. Les recomendamos tener esto en cuenta, y preparar la presentación. Algunos consejos útiles que les pueden servir son:

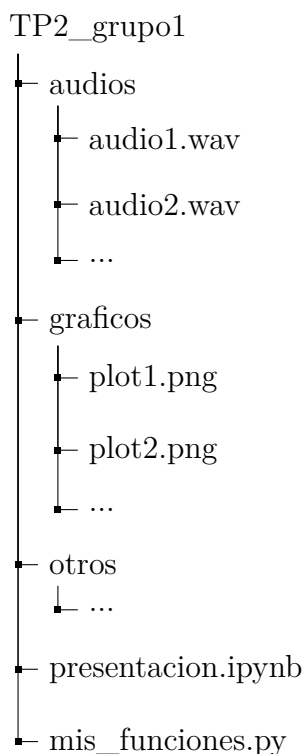
- **Planificar** la presentación en grupo. Esto es, dedicarle un tiempo a definir que cosas conviene mostrar durante la presentación y que cosas no, como mostrarlas, que herramientas usar, que detalles mencionar, etc.
- Ensayar la presentación utilizando un cronómetro para tener dimensión del tiempo que se tarda en presentar y ajustar el contenido a conveniencia.
- Probar todas las herramientas a utilizar. Esto es, correr la última versión del código para asegurarse de que todo se ejecute correctamente, probar la transmisión de imagen y de **audio** en una videollamada previamente, coordinar que mas de una persona tenga todo preparado como para presentar si surge algún inconveniente, etc.

Luego de la presentación, se realizarán preguntas o planteos en el caso que sean necesarios.

## 5.2 Entrega

Tanto los scripts como los notebooks que se desarrollen para crear las funciones y para ejecutar los incisos y las demostraciones deben ser entregados dentro de un archivo comprimido llamado **TP2\_grupo#.zip** poniendo el número de grupo correspondiente. **Respeten este formato al pie de la letra, porque facilita el manejo de documentos para la corrección. Por ejemplo, un archivo llamado tp2\_grupo1.zip no cumple el formato, otro llamado TP2\_Grupo2.zip no cumple con el formato, TP2\_GRUPO3.zip no cumple con el formato, TP2\_grupo4.rar no cumple con el formato, etc....** El código debe ser claro, las funciones deben estar debidamente documentadas y cualquier explicación que sea necesaria para comprender o ejecutar el código debe incluirse dentro de los mismos. También se deben incluir los archivos de audio, imágenes, archivos .npy y todo lo que pueda ser necesario para la correcta ejecución del código.

Se recomienda que la carpeta que contenga los archivos siga una estructura similar a la siguiente:



La fecha de entrega límite es el 12/11 a las 23:59 hs. No se reciben trabajos por fuera de este plazo.

## Bibliografía

- [1] "Measurement of room acoustic parameters. Part 2: Reverberation time in ordinary rooms," International Organization for Standardization, Standard, oct. de 2009.
- [2] A. Farina, "Simultaneous Measurement of Impulse Response and Distortion with a Swept-Sine Technique," *Audio Engineering Society*, 2000.
- [3] "Octave-band and fractional-octave-band filters.," International Organization for Standardization, Standard, 2000.
- [4] N. I. y O. H. Bjor, "Building and Room Acoustics Measurements with Sine-Sweep Technique," *Proceedings of the Institute of Acoustics*, 2003.