

# Fundamentos de Acústica y Electroacústica (Año 2017)

22 de abril de 2017

**Docente:** Ing. Sebastián P. Ferreyra  
**Trabajo Práctico Nro:** 1 (individual)  
**Alumno:** Diego Lorca  
**Legajo:** 63477

## **Tema: Caracterización de Fuente Sonora**

Objetivo: Medir niveles sonoros estandarizados aplicando diferentes constates de tiempo (Slow, Fast y Peak) y redes de ponderación espectral (A, C y Z). Análisis de descriptores sonoros. Análisis de frecuencia por FFT del sonido medido. 1

## **Materiales e Instrumental necesarios.**

- Micrófono (bobina móvil, electrostático ó piezoeléctrico)
- Ordenador
- Placa de adquisición de datos DAQ (sonido): (on board, o externa, resolución: 16 bits, frecuencia de muestreo: 44100 Hz)
- Software libre de medición acústica (REW 5.1)
- Cableado: para pequeña señal analógica (micrófono) para señal digital (USB ó Fireware IEEE 1394) para DAQ externa

## **Marco Teórico**

### **Fuente sonora**

Podemos definir a una fuente como cualquier objeto o elemento capaz de producir vibraciones mecánicas en un medio elástico, sea este último sólido, líquido o gaseoso. La fuente podrá clasificarse como “sonora”, “ultrasónica” e “infrasónica” en función del espectro de frecuencias audible del ser humano.

### **Características**

Una fuente sonora ó acústica se caracteriza por la potencia (energía por unidad de tiempo que radia), pero también con otros aspectos como directividad y tipo de sonido que produce (continuo, impulsivo, armónico, inarmónico), entre otras características. La fuente sonora puede emitir igual nivel de energía en todas direcciones (omnidireccional ó isotrópica). Sin embargo, en la práctica, esto último sucede bajo determinadas condiciones.



## Directividad de una fuente sonora

La directividad de una fuente se define como la capacidad de concentrar energía en una dirección determinada. Por lo cual, existe la posibilidad de representarla matemática y gráficamente, a través de índices, coeficientes y diagramas (Davis, 1983). En acústica, generalmente se utilizan los llamados diagramas de directividad, que utilizan coordenadas polares para su representación. Para caracterizar en forma básica la directividad de una fuente sonora, se trazan por separado generalmente el plano vertical y el plano horizontal dentro del espectro de frecuencias bajo estudio. En la figura 1 se presentan los diagramas de directividad del plano horizontal de una caja acústica.

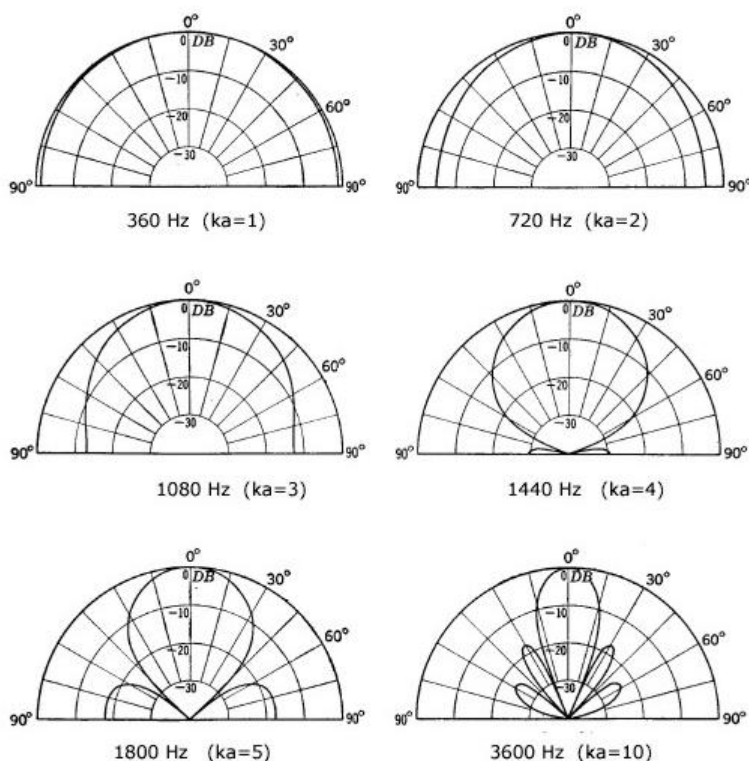


Figura 1:

En este caso se observa que la directividad de la fuente es diferente para una u otra frecuencia, pudiéndose inferir que con el aumento de la frecuencia, la radiación del sonido se vuelve cada vez más directiva, es decir, la energía sonora se concentra cada vez más en una determinada dirección.

## El decibel

En la actualidad el sistema de notación con decibel (dB) se encuentra frecuentemente en diferentes disciplinas científicas como la acústica, la electrónica, las comunicaciones, la física, la economía, etc. Por definición, el decibel es la decima parte del Bel (B), denominación



adoptada en honor de Alexander Graham Bell (Davis, 1983). Con el trascurso de los años el sistema fue adoptado universalmente, el mismo está basado en las propiedades de la función logaritmo, y permite realizar expansiones y compresiones de escalas en la forma necesaria, simplificando mucho los cálculos con grandes cantidades. Principalmente permite expresar relaciones de magnitud de parámetros como potencia, tensión, corriente, presión sonora, intensidad sonora, aceleración, etc., y también puede utilizarse como una magnitud de medida cuando a uno de los parámetros de referencia se le asigna un valor unitario ó constante. Se recuerda a los lectores que una magnitud es todo aquello capaz de experimentar un aumento ó disminución. Una de las claves de su gran aceptación es que todos los sentidos humanos, tacto, vista, audición, sensación de peso, etc., funcionan logarítmicamente. Es decir, que en presencia de un estímulo, la variación mínima perceptible es proporcional al estímulo ya existente (Ley Weber-Fechner). El sistema fue originado en los laboratorios de la Bell Telephone Company, particularmente el bel y el decibel surgieron debido a la necesidad de definir una unidad que exprese la reducción ó atenuación de la potencia a las salida de una línea telefónica con respecto a la entrada. Mientras que el neper, antecesor al decibel, se utilizó inicialmente para mesurar la atenuación de una milla de cable patrón. En el campo de la acústica tanto el decibel como el neper fueron y son ampliamente utilizados, por lo cual, se presenta a continuación un conjunto de definiciones en referencia al tema proporcionadas por el American National Standard Institute (ANSI) y la Acoustical Society of America (ASA), en la norma ANSI S.1.1-1994 (ASA 111-1994).

### Nivel (Level)

L En acústica, es el logaritmo de la razón de una cantidad a una cantidad de referencia de la misma naturaleza. La base del logaritmo, la cantidad de referencia y la naturaleza del nivel deben ser especificadas. Ejemplos de tipos de niveles son el nivel de potencia eléctrica, el nivel de presión sonora, el nivel de intensidad sonora, el nivel de aceleración de partículas, etc. Para logaritmos decimales (en base 10) la nomenclatura es log ó lg. Para logaritmos naturales ó neperianos (en base e) la nomenclatura es Ln (ANSI,1994). La expresión matemática es

$$L = \log r \left( \frac{q}{q_0} \right) \quad (1)$$

donde:

L nivel de especie determinada por la clase de la cantidad bajo consideración

r base de los logaritmos y proporción de referencia

q cantidad bajo consideración

q<sub>0</sub> cantidad de referencia de la misma naturaleza ó tipo

### Bel (B)

Unidad de nivel cuando la base del logaritmo es la raíz décima de diez, los que es igual a diez veces el logaritmo en base diez, y las cantidades afectadas son proporcionales a la potencia (ANSI,1994). Símbolo de la unidad, dB

$$L = 10 \log_{10} \left( \frac{W}{W_0} \right) \text{ [dB]}$$

### Neper (Np)

Unidad de nivel cuando la base del logaritmo es el numero e = 2,71828...(logaritmos naturales ó neperianos). Asimismo, es unidad de nivel de una cantidad de energía, cuando la base del logaritmo es e<sup>2</sup> = 7,389. Símbolo de la unidad, Np (ANSI,1994). Como unidad de nivel de energía 1 Np = 8,686 dB y 1dB = 0,1151 Np.



## Nivel de presión sonora — SPL

Se define como diez veces el logaritmo de base diez de la razón de la presión sonora eficaz de un sonido a la presión sonora eficaz de referencia, la cual para gases es de 20 micro Pascales (20  $\mu\text{Pa}$ ) (ANSI,1994). Unidad, dB. Abreviatura NPS (SPL: sound pressure level). Símbolo,  $L_p$

$$L_p = 10 \log_{10} (p^2 / p_{\text{ref}}^2) = 20 \log_{10} (p / p_{\text{ref}}) [\text{dB}] \quad (4)$$

Comparado con la presión estática del aire (1013 HPa), las variaciones de presión sonora son muy pequeñas, en un margen que puede ir desde los 20  $\mu\text{Pa}$  ( $20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ ) hasta 100 Pa. El valor de 20  $\mu\text{Pa}$  corresponde al umbral auditivo típico de una persona sin pérdidas de audición. Por lo tanto, es llamado umbral auditivo. Una presión sonora de aproximadamente 100 Pa, es tan alta que causa dolor y por lo tanto es denominado umbral del dolor. La relación entre estos dos extremos es mayor que un millón a uno. Aplicar de forma directa escalas lineales (en Pa) a la medida de la presión sonora nos lleva a cifras enormes e inmanejables. Ya que el oído responde a los estímulos de forma logarítmica, es más práctico expresar los parámetros acústicos como una relación logarítmica entre el valor medido respecto a un valor de referencia. La ventaja de usar decibelios se observa en la figura 2. Aquí, la escala lineal con sus grandes cifras se convierte en una escala manejable, desde 0 dB en el umbral auditivo (20  $\mu\text{Pa}$ ), hasta 130 dB, en el umbral del dolor ( $\sim 100 \text{ Pa}$ ).

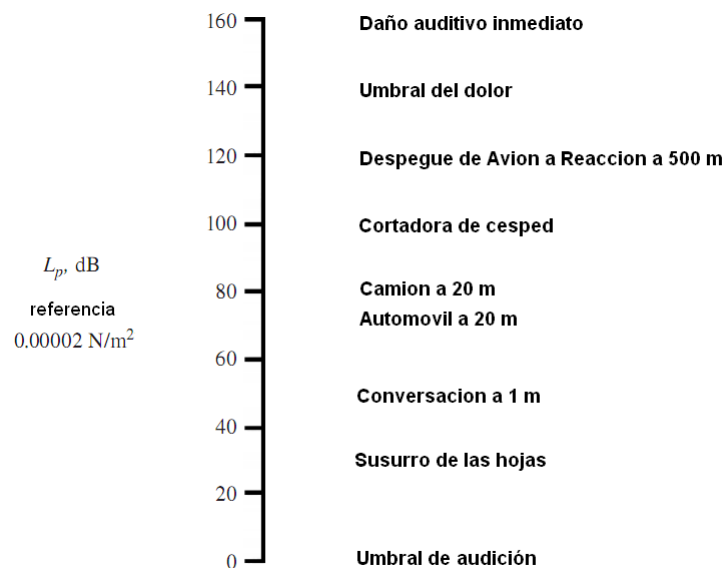


Figura 2:

## Nivel de intensidad sonora — IL

Se define como diez veces el logaritmo de base diez de la razón de la intensidad de un sonido dado en una dirección indicada a la intensidad sonora de referencia, la cual es de 1 pico watt /  $\text{m}^2$  (1  $\text{pW/m}^2$ ) (ANSI,1994). Unidad, decibel (dB). Abreviatura, IL. Símbolo,  $L_i$

$$L_i = 10 \log_{10} (I / I_{\text{ref}})$$



### Nivel de potencia sonora o acústica — $L_W$

Se define como diez veces el logaritmo en base diez de la razón de una potencia sonora dada a la potencia de referencia, la cual es de un pico watt (1 pW) (ANSI,1994). Unidad, decibel (dB). Abreviatura, PWL. Símbolo,  $L_W$  ó  $L_P$

$$L_W = 10 \log_{10} (W / W_{ref}) [dB]$$

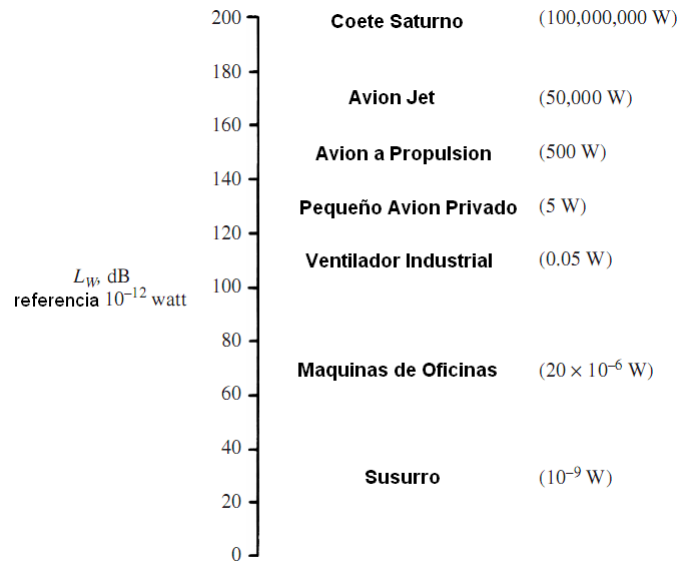


Figura 3:

### Nivel sonoro continuo equivalente — $L_{eq}$

Se define como diez veces el logaritmo de base diez de la razón de la presión sonora eficaz durante un determinado intervalo de tiempo  $T$  de un sonido dado, a la presión sonora eficaz de referencia, la cual es de 20 micro Pascales (20  $\mu$ Pa). Unidad, decibel (dB) (ANSI,1994). Abreviatura,  $L_{eq}$  ó  $L_{AT}$ .

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_0^T (p^2 / p_{ref}^2) dt \right] [dB] \quad (7)$$

donde:

$L_{eq}$  Nivel sonoro continuo equivalente (equivalent sound level) (dB)

$T$  Periodo de tiempo (time period) (s)

$p$  Presión sonora (sound pressure) (Pa,  $N/m^2$ )

$p_{ref}$  Presión sonora de Referencia (reference sound pressure) ( $20 \times 10^{-6}$  Pa,  $N/m^2$ )

El nivel sonoro continuo equivalente (NSCE ó  $L_{eq}$ ) es un descriptor teórico que cuantifica el nivel medio de energía sonora para un periodo de tiempo determinado, calculado a partir de la presión sonora instantánea que produce una fuente. Este descriptor, se correlaciona en buena medida con los efectos del ruido sobre el hombre, permitiendo cuantificar a través de un único valor el nivel sonoro producido por una fuente que varía su intensidad a medida que transcurre el tiempo. El  $L_{eq}$  también es denominado en algunas ocasiones en la bibliografía como “nivel sonoro promedio” (Average Sound Level –  $L_{AT}$ ).



### Nivel de velocidad de partículas — $L_v$

Se define como diez veces el logaritmo de base diez de la razón de la velocidad eficaz de las partículas de un sonido ó vibración dada a la velocidad eficaz de las partículas de referencia, la cual es de 10 nanómetros (10 nm) según norma ANSI S1.8-1969 y 1 nm según norma ISO 1683-1983. Unidad, decibel (dB). Simbolo,  $L_v$ .  $L_v = 10 \log_{10} (u / u_{ref})$  (8)

### Suma de niveles sonoros

Si se miden de forma separada los niveles sonoros de dos o más fuentes de sonido y se desea conocer el nivel de presión sonora combinado de dichas fuentes acústicas, entonces deben sumarse los correspondientes niveles sonoros. Sin embargo, debido al hecho de que los decibeles son valores logarítmicos, esta suma no puede realizarse de forma directa. (Bruel & Kjaer, 2000) Una forma de sumar dB es convertir cada valor de dB en su valor lineal, sumar esos valores lineales y convertir el resultado de nuevo en dB, usando la siguiente ecuación

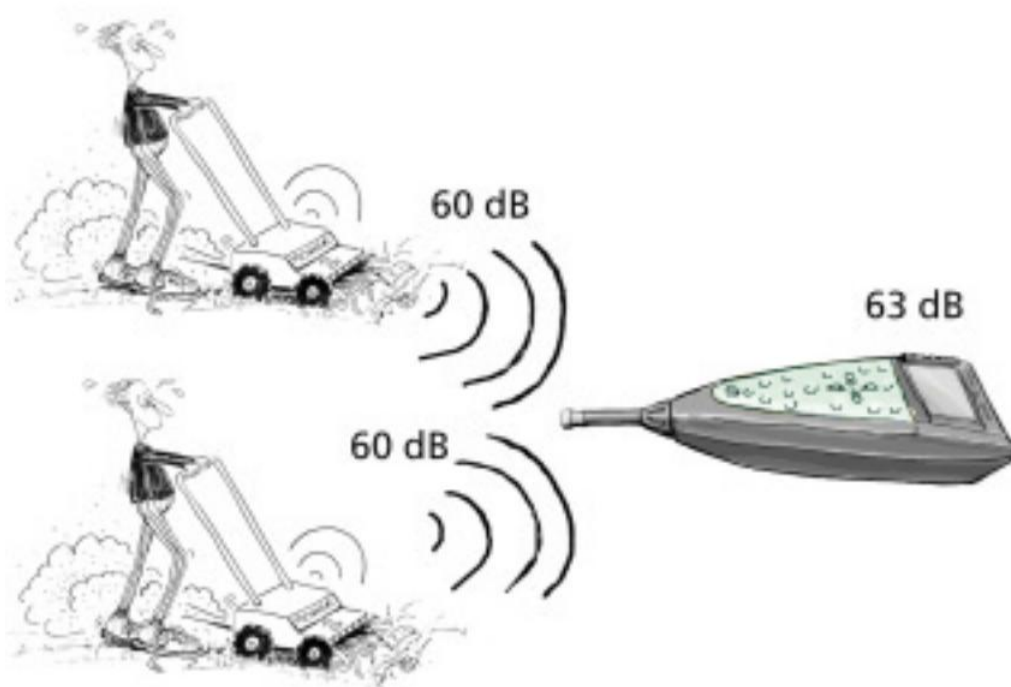


Figura 4:

Un método más fácil es usar el ábaco de la figura 6 y el procedimiento siguiente

1. Medir el nivel de presión sonora total ( $L_{p \text{ tot}}$ ).
2. Medir el nivel de ruido de fondo
3. Ingresar al ábaco, por el eje de abscisas con el valor correspondiente a la diferencia ( $D$ ) de los niveles ( $L_{p \text{ tot}} - L_{p \text{ fondo}}$ ).
4. Trasladarse hasta interceptar la curva, y tomar lectura del valor en el eje de ordenadas
5. Restar el valor indicado ( $L_{\text{fondo}}$ ) del eje vertical al nivel de presión sonora total ( $L_{p \text{ tot}}$ ). El resultado, es la resta del nivel de ruido de fondo medido respecto del nivel de presión sonora total medido.

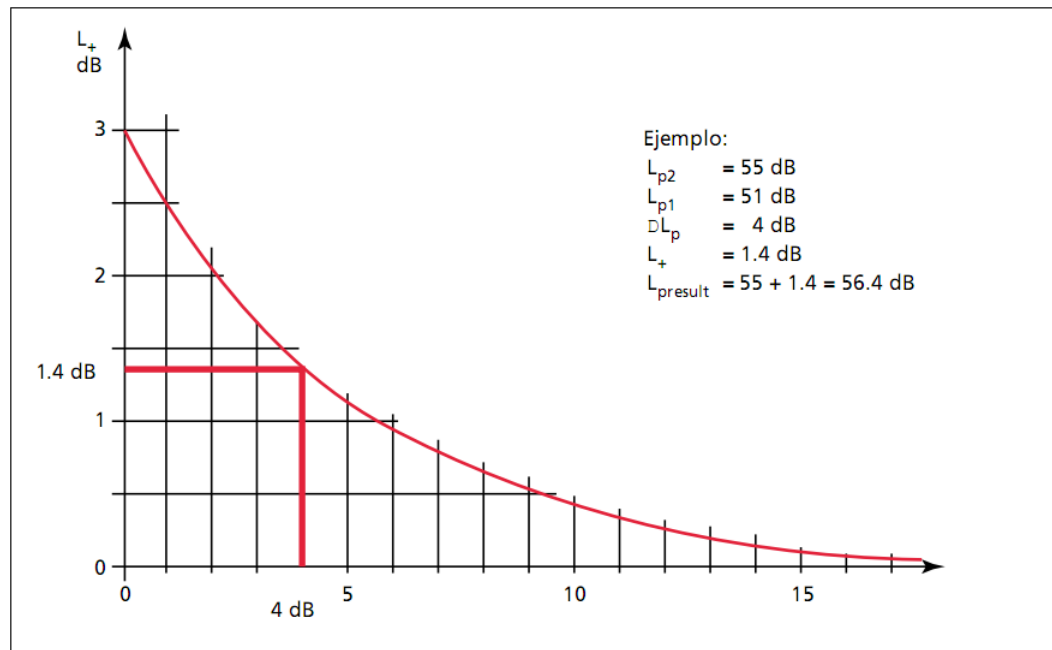


Figura 5:

Tenga en cuenta que una diferencia de  $DL_p = 0$  corresponde a la situación mostrada en la ilustración anterior, donde se añadieron 3 dB al nivel causado por una sola fuente

### Resta de niveles sonoros

Algunas veces es necesario restar el ruido de fondo del NPS total. La corrección para el ruido de fondo puede hacerse restando el ruido de fondo medido ( $L_{p \text{ fondo}}$ ) del nivel de presión sonora total ( $L_{p \text{ tot}}$ ) usando la siguiente ecuación

Un método más fácil es usar el ábaco de la figura 6 y el procedimiento siguiente:

1. Medir el nivel de presión sonora total ( $L_{p \text{ tot}}$ ).
2. Medir el nivel de ruido de fondo
3. Ingresar al ábaco, por el eje de abscisas con el valor correspondiente a la diferencia ( $D_L$ ) de los niveles ( $L_{p \text{ tot}} - L_{p \text{ fondo}}$ ).
4. Trasladarse hasta interceptar la curva, y tomar lectura del valor en el eje de ordenadas
5. Restar el valor indicado ( $L_{p+}$ ) del eje vertical al nivel de presión sonora total ( $L_{p \text{ tot}}$ ). El resultado, es la resta del nivel de ruido de fondo medido respecto del nivel de presión sonora total medido

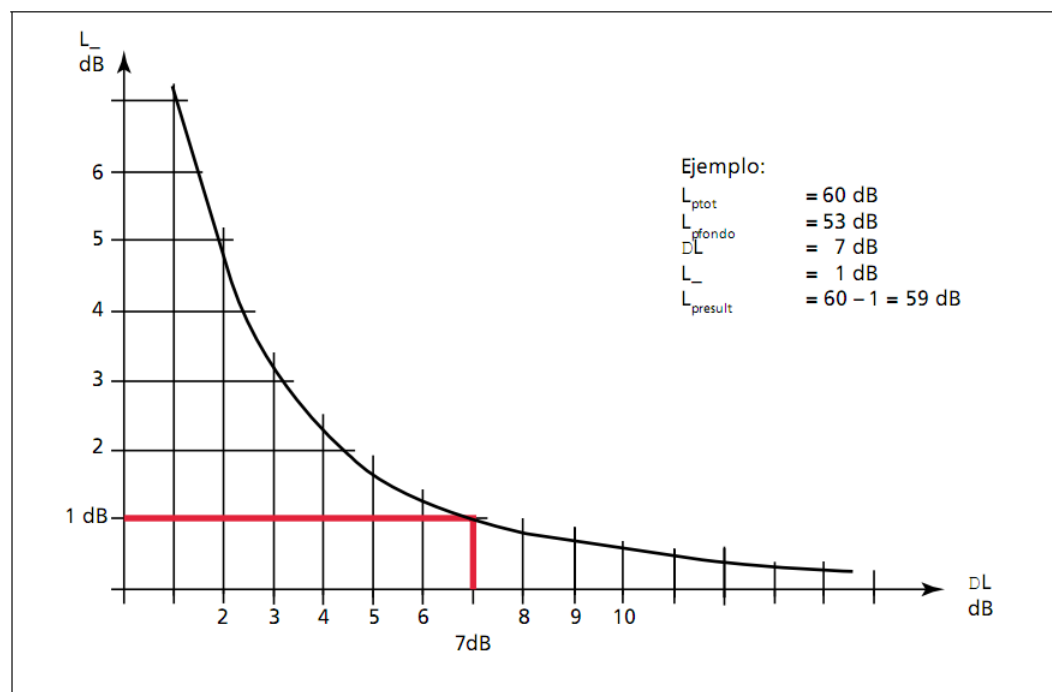


Figura 6:

Si la  $D L$  es inferior a 3 dB, el ruido de fondo es demasiado alto para una medida de precisión y el nivel de ruido correcto no se puede hallar hasta que el ruido de fondo haya sido reducido. Si por otra parte, la diferencia es superior a 10 dB, el ruido de fondo puede ser ignorado.





### 3 DESARROLLO PRÁCTICO

Para el desarrollo del trabajo práctico se necesita una fuente sonora para efectuar las distintas mediciones. Para este caso la fuente de sonido escogida fue una PC de escritorio, donde más precisamente lo que genera el ruido es la fuente de alimentación y su correspondiente sistema de ventilación. En principio su ruido no es relativamente alto.

Ahora bien para efectuar las mediciones se utilizó una notebook con micrófono incorporado (parte superior de la pantalla) y software libre REW 5.0, el cual proporciona una ventana donde se pueden elegir las distintas ponderaciones así como los tiempos de muestreo como muestra la Fig. 7, también posee una opción de calibración, para esto se usó una aplicación de android llamada SPL meter, la cual fue instalada en un celular samsung G355M.

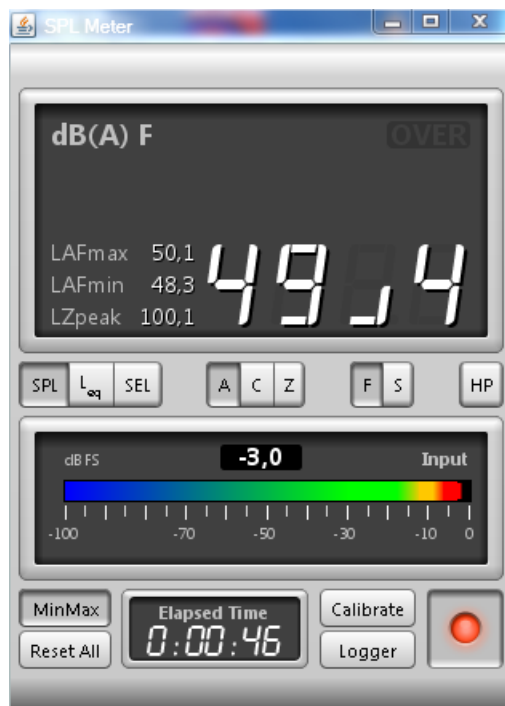


Figura 7: Ventana de REW 5.0

Necesariamente para la calibración se debía generar un tono de 1000Hz a 75dBspl para la contrastación, para ello se utilizó el software RTA, que se muestra en la Fig. 8.

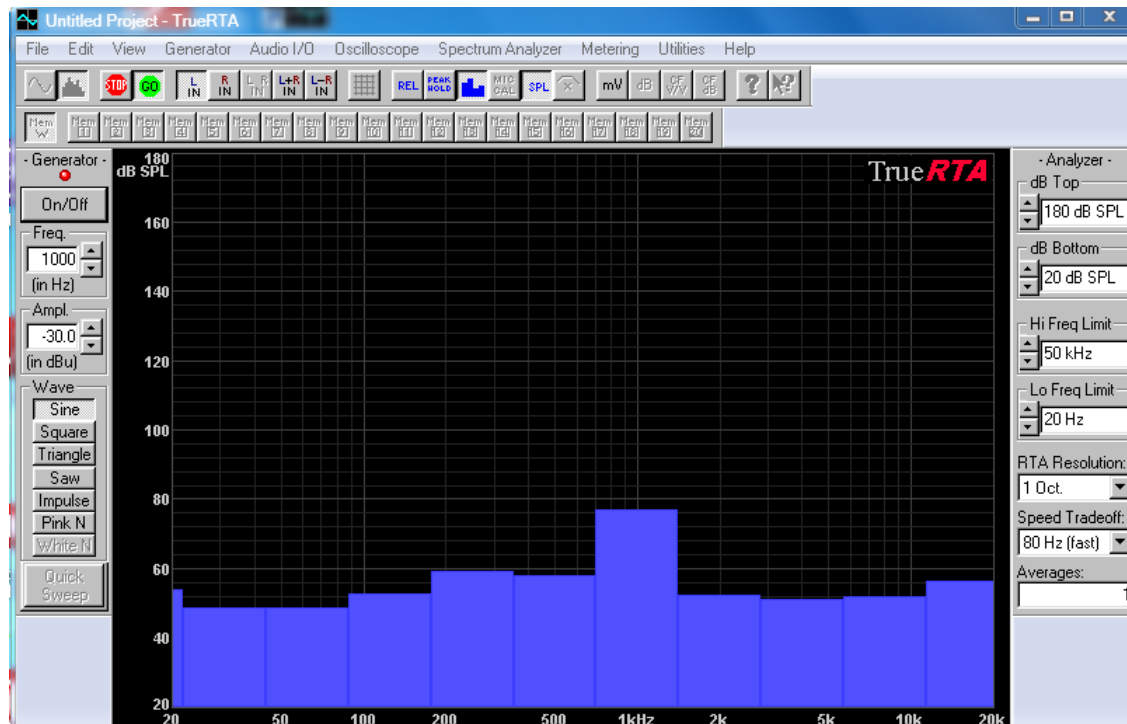


Figura 8: Software RTA generando un tono de 1000Hz a 75dBspl

Una vez calibrado los instrumentos se procedió a hacer las mediciones correspondientes de la fuente sonora. Se eligieron dos radios uno de 60cm y otro de 120cm, donde estarían los puntos de mediciones, los cuales deben ser 8, es decir 4 por radio, con una separación de  $30^\circ$  con respecto al eje de la fuente sonora.

El lugar elegido para colocar la fuente de sonido fue en medio de una habitación la cual tenía como dimensiones 2,8m de largo, 3m de ancho y 2,5m de alto mientras que físicamente las paredes y techos se encontraban con reboque fino.

En el momento que se midió, las condiciones meteorológicas eran las siguientes:

Presión estática: 968,4 hPa

Humedad relativa: 72 %

Temperatura ambiente: 18,8 °C

Velocidad del viento: Sur 22km/h

Las primeras mediciones a hacer corresponden al piso de ruido que proporciona el ambiente sin la fuente sonora y al ruido eléctrico del instrumento. Este último se realiza quitando el micrófono del instrumento, como no fue posible lograr anularlo en la notebook no se pudo medir. Las medidas del piso de ruido se muestran en la tabla 1.

Param.		Param.	
$L_{ASmax}$	41,2dB <sub>SPL</sub>	$L_{AFmax}$	42dB <sub>SPL</sub>
$L_{ASmin}$	40,7dB <sub>SPL</sub>	$L_{AFmin}$	41,8dB <sub>SPL</sub>
$L_{CSmax}$	66,7dB <sub>SPL</sub>	$L_{CFmax}$	65,5dB <sub>SPL</sub>
$L_{CSmin}$	66,4dB <sub>SPL</sub>	$L_{CFmin}$	64,8dB <sub>SPL</sub>
$L_{ZSmax}$	70,3dB <sub>SPL</sub>	$L_{Aeq}$	40,5dB <sub>SPL</sub>
$L_{ZSmin}$	70,2dB <sub>SPL</sub>	$L_{Ceq}$	66,6dB <sub>SPL</sub>
$L_{Zpeak}$	90dB <sub>SPL</sub>	$L_{Zeq}$	70,1dB <sub>SPL</sub>

Cuadro 1: Medición piso de ruido



Las mediciones correspondientes a la fuente sonora se muestran en la tabla 2. Para un radio cercano de 60cm y otro alejado a 120cm.

Param.	Radio 1				Radio 2			
$L_{ASmax}$	58,6	57,4	57,4	56,7	56,0	55,2	55,4	55,3
$L_{ASmin}$	57,0	56,1	56,6	55,3	54,5	55,1	54,8	53,9
$L_{CSmax}$	71,9	72,1	71,8	71,7	71,4	71,9	72,0	71,8
$L_{CSmin}$	71,3	71,5	71,7	71,6	71,2	71,5	71,7	71,6
$L_{ZSmax}$	99,9	99,8	99	99,5	99,8	99,5	100,1	99,8
$L_{ZSmin}$	99,8	99,7	98,8	99,4	99,6	99,1	99,8	99,3
$L_{AFmax}$	59,7	58,1	59,2	57,9	56,8	57,1	57,2	56,5
$L_{AFmin}$	57,1	57,9	58,4	57,1	54,7	55,2	56,8	56,7
$L_{CFmax}$	71,4	71,6	71,5	71,6	71,4	71,8	71,9	72,0
$L_{CFmin}$	71,1	71,3	71,4	71,4	71,2	71,2	71,8	71,9
$L_{Zpeak}$	100,3	100,1	100,2	100,1	100	100,1	99	100
$L_{Aeq}$	57,9	57,1	56,9	56,5	55,8	56,1	56,2	56,1
$L_{Ceq}$	71,7	71,5	71,4	71,4	71,3	72,1	72,1	71,9
$L_{Zeq}$	99,8	99,7	99,6	99,8	99,9	99,8	99,8	99,9

Cuadro 2: Medidas de cada parámetro para cada radio en  $dB_{SPL}$

Comparando los datos obtenidos en el cuadro 2 con los obtenidos en el piso de ruido resulta que la diferencia es mayor a 10dB lo que no influye circunstancialmente en los parámetros medidos. Se puede plasmar el promedio y la desviación estándar para cada parámetro medido, los cuales se muestran en el cuadro 3.

Param.	$\mu_1$	$\sigma_1$	$\mu_2$	$\sigma_2$
$L_{ASmax}$	57,5	0,68	55,47	0,31
$L_{ASmin}$	56,25	0,63	54,57	0,44
$L_{CSmax}$	71,9	0,15	71,77	0,22
$L_{CSmin}$	71,5	0,15	71,5	0,18
$L_{ZSmax}$	99,55	0,35	99,8	0,21
$L_{ZSmin}$	99,7	0,16	99,45	0,26
$L_{AFmax}$	58,7	0,75	56,9	0,27
$L_{AFmin}$	57,6	0,55	55,85	0,91
$L_{CFmax}$	71,5	0,08	71,77	0,22
$L_{CFmin}$	71,3	0,12	71,52	0,32
$L_{Zpeak}$	100,17	0,08	99,77	0,44
$L_{Aeq}$	57,1	0,5	56,05	0,15
$L_{Ceq}$	71,5	0,12	71,85	0,32
$L_{Zeq}$	99,7	0,08	99,85	0,05

Cuadro 3: Valores de la media aritmética  $\mu$  y de la desviación estándar  $\sigma$  en  $dB_{SPL}$ .

Utilizando la herramienta RTA del software REW 5.0 se puede obtener una respuesta en frecuencia para cada punto de medición tomando una cantidad de 65536 muestras y aplicando filtros de 1 octava y 1/3 de octava para un promediado de 32 veces . Esto se puede ver en las siguientes figuras:

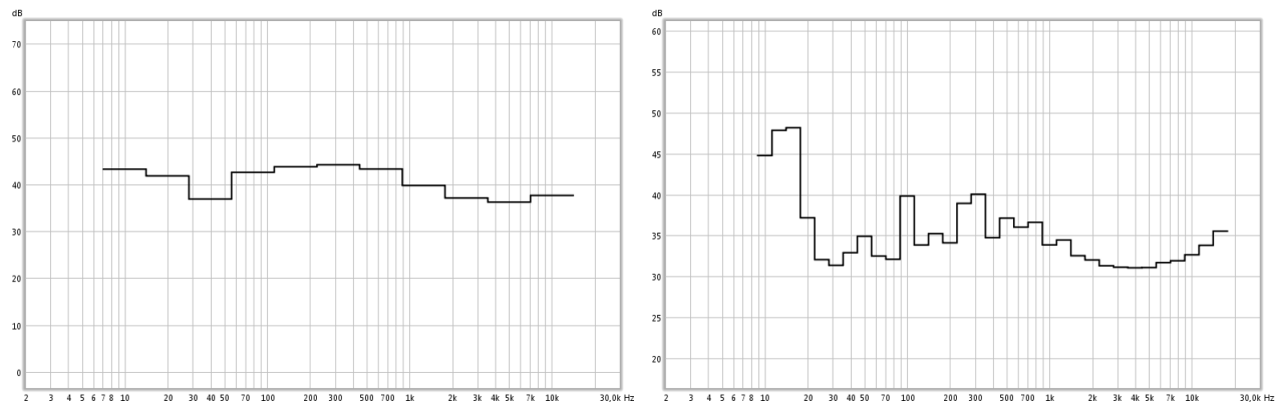


Figura 9: Diagrama espectral posición 1 para filtro 1 octava (izq.) y filtro de 1/3 octava (der.)

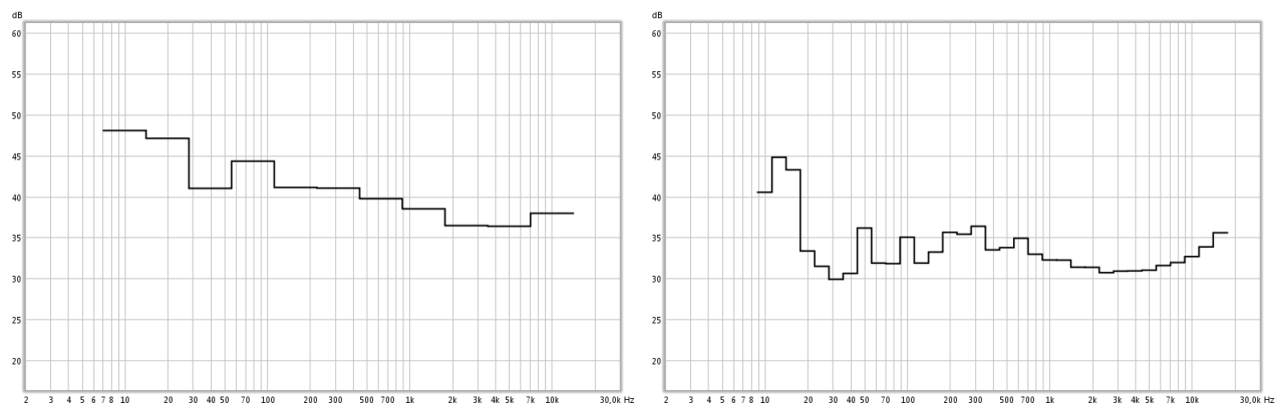


Figura 10: Diagrama espectral posición 2 para filtro 1 octava (izq.) y filtro de 1/3 octava (der.)

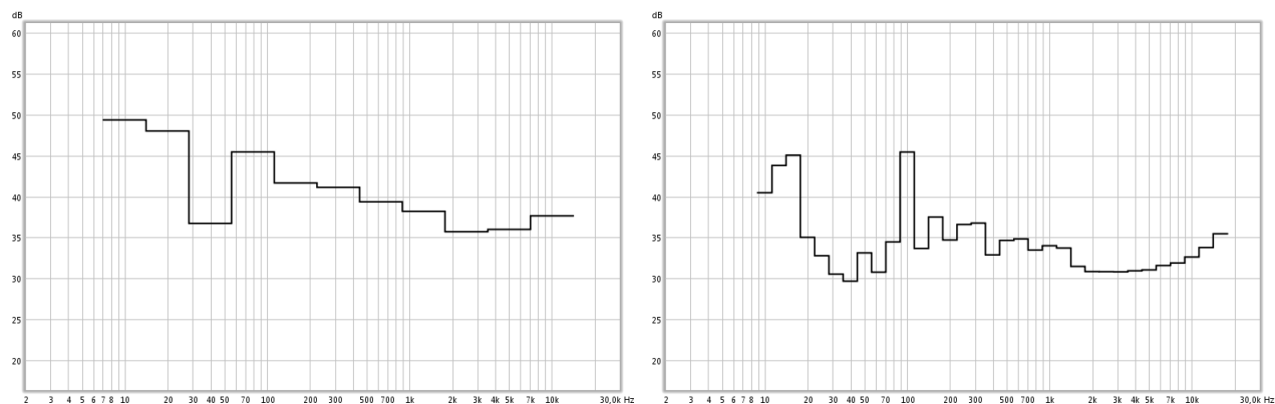


Figura 11: Diagrama espectral posición 3 para filtro 1 octava (izq.) y filtro de 1/3 octava (der.)

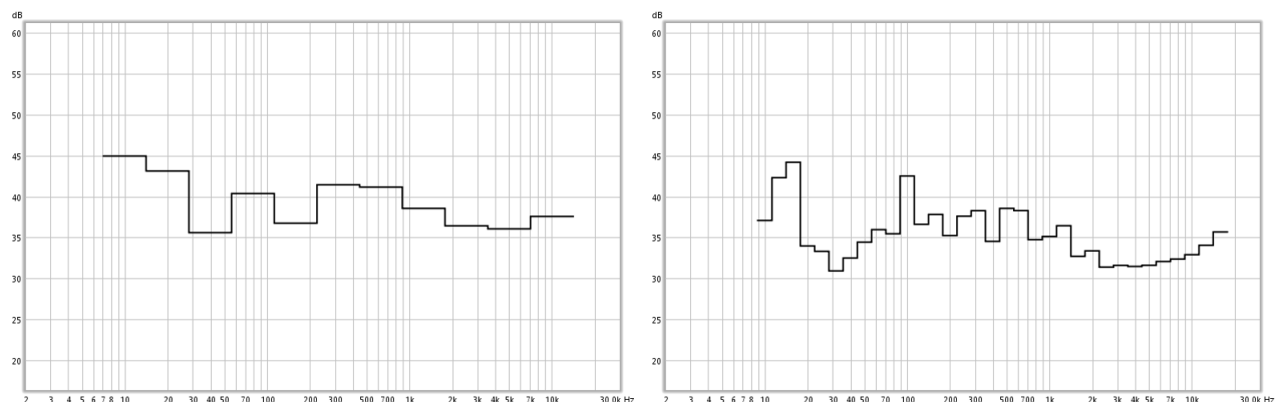


Figura 12: Diagrama espectral posición 4 para filtro 1 octava (izq.) y filtro de 1/3 octava (der.)

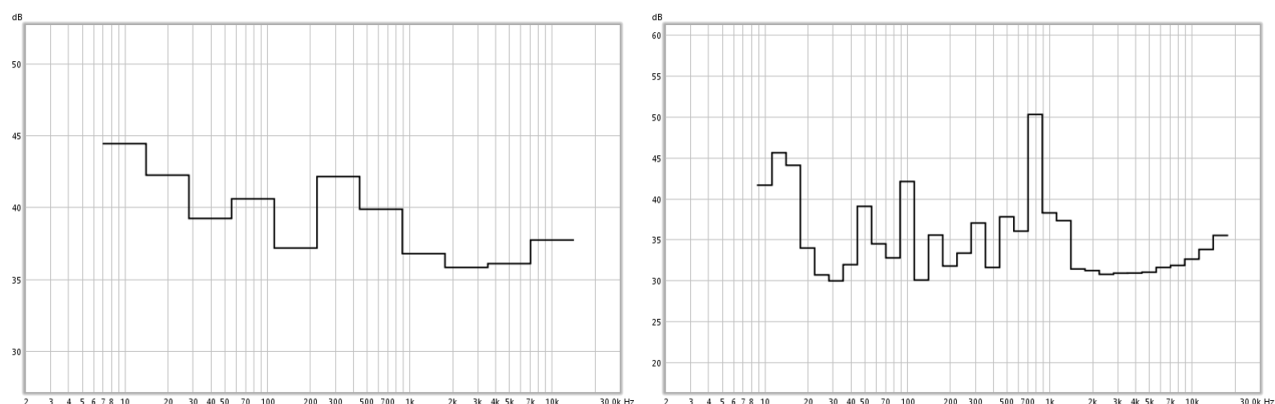


Figura 13: Diagrama espectral posición 5 para filtro 1 octava (izq.) y filtro de 1/3 octava (der.)

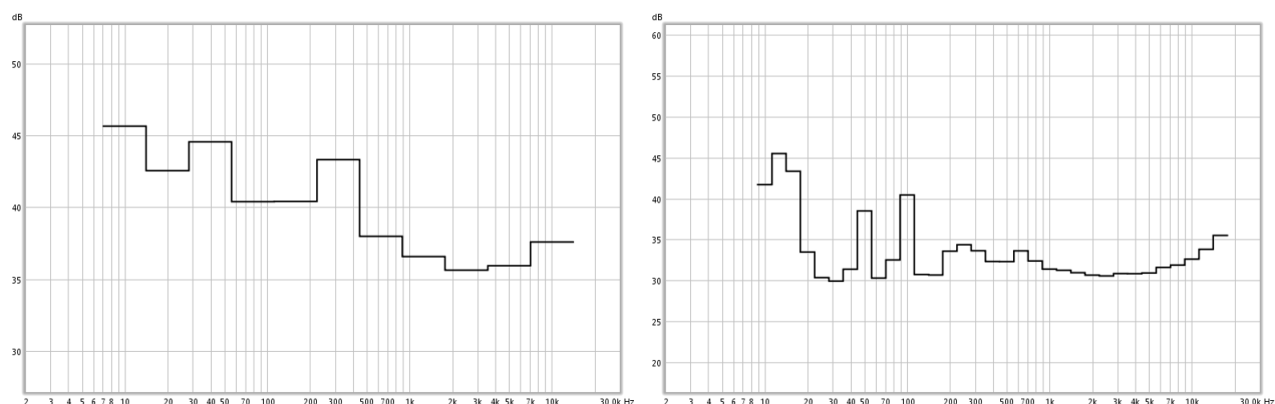


Figura 14: Diagrama espectral posición 6 para filtro 1 octava (izq.) y filtro de 1/3 octava (der.)

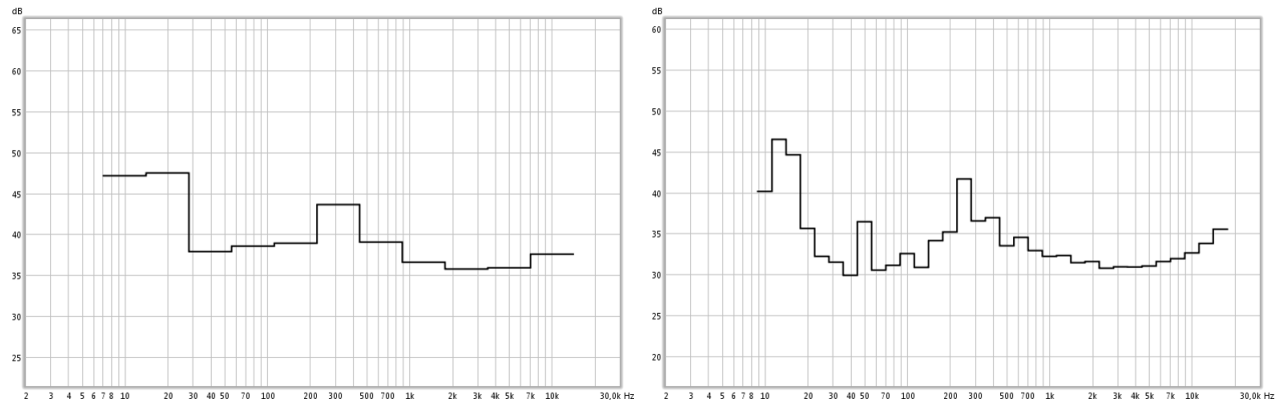


Figura 15: Diagrama espectral posición 7 para filtro 1 octava (izq.) y filtro de 1/3 octava (der.)

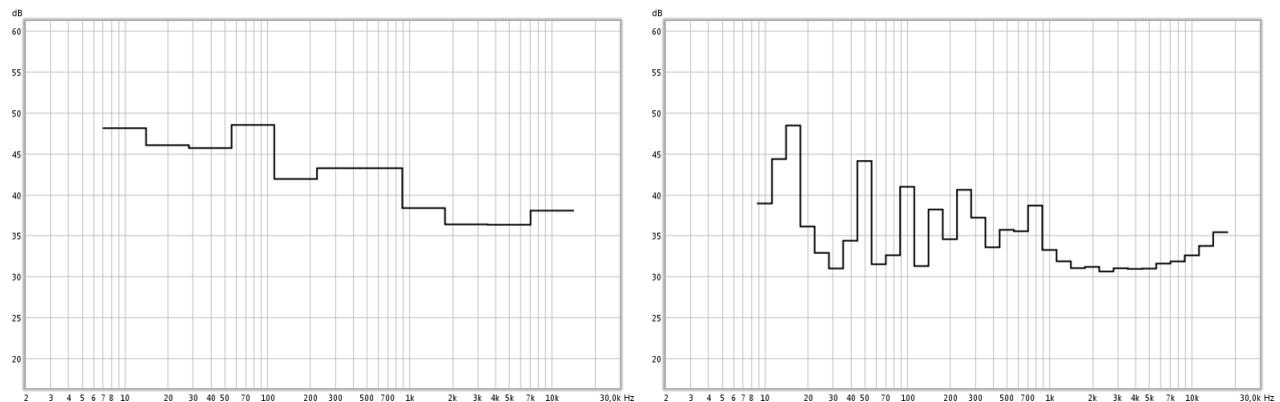


Figura 16: Diagrama espectral posición 8 para filtro 1 octava (izq.) y filtro de 1/3 octava (der.)

## Conclusión

Se puede decir que en condiciones normales de ambiente y en un establecimiento no adecuado las mediciones carecen de exactitud, para este caso por ejemplo al no tener un ambiente despejado donde sólo se esté considerando la fuente sonora a medir, se producen reflexiones y refracciones en los objetos cercanos así como también en paredes y techo. La distancia entre radios no mostró diferencias notables las cuales se pueden entender por ser medidas logarítmicas y una fuente sonora relativamente de bajo nivel de ruido.

Por otro lado para tener un resultado total en las mediciones lo más cercano posible se debe tener en cuenta el ruido eléctrico del instrumento, el ruido de piso, la reverberación y una gran aislación del sonido, que no se pudo obtener debido a lo limitado en herramientas y su información técnica, la cual podría haber sumado para el cálculo de error en la medición, que por cierto sólo se tomó la desviación estándar de las mediciones.

Los programas utilizados son herramientas de software libre las cuales permitieron tener buena aproximación con respecto a las mediciones, permitieron la representación en el dominio de la frecuencia y sirvieron para lograr una determinada calibración.



## Referencias

ANSI (1994), “Acoustical Terminology”. Editorial American National Standard Institute. New York.

Beranek, L. L. (1961), “Acústica”. MIT, USA, Edición en castellano Editorial Panamericana. Bs As.

Brigham, E. (1974), The Fast Fourier Transform, Prentice Hall.

Brüel & Kjær (2000), “Ruido Ambiental”, Primera Edición, B&K. Dinamarca.

John Mulcahy (2004-2016), Room Equalizer Wizard (REW). Fecha último acceso: 11/05/2016.  
<http://www.roomeqwizard.com/>

Ferreira Sebastián Pablo (2013), Física Acústica. Pp 1 – 34. Revisión 1.3. Publicación Interna Cátedra Fundamentos de Acústica y Electroacústica. Departamento Ingeniería Electrónica, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional.

Davis, Don & Caroline (1983), “Ingeniería de Sistemas de Sonido”, Editorial Marcombo.

Everest F. A. (2001), “The Master Handbook Of Acoustics”, (4 th Edition), McGraw- Hill, Los Angeles.