



**Cátedra**  
**Fundamentos de Acústica y Electroacústica**  
**(Año 2017)**

**Docente:** Ing. Sebastián P. Ferreyra

**Trabajo Práctico Nro:** 1 (individual)

**Alumno:** Álvarez, Mariano **Legajo:** 54976

**Tema:** Caracterización de Fuente Sonora

**Objetivo:** Caracterizar una fuente sonora (FS). Configurar y calibrar un sistema de medición sonoro utilizando micrófono, placa de adquisición de datos (DAQ: Data Acquisition) de sonido y software libre de medición acústica. 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.

**Materiales e Instrumental necesarios.**

- Micrófono dinámico Samson R21s
- Ordenador
- Placa de adquisición de datos DAQ (sonido): (on board, resolución: 16 bits, frecuencia de muestreo: 44100 Hz)
- Software libre de medición acústica (REW 5.1)
- Cableado: para pequeña señal analógica (micrófono), con conector de XRL a ¼ pulgadas desbalanceado.

**Marco Teórico**

**Fuente sonora**

Podemos definir a una *fente* 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.

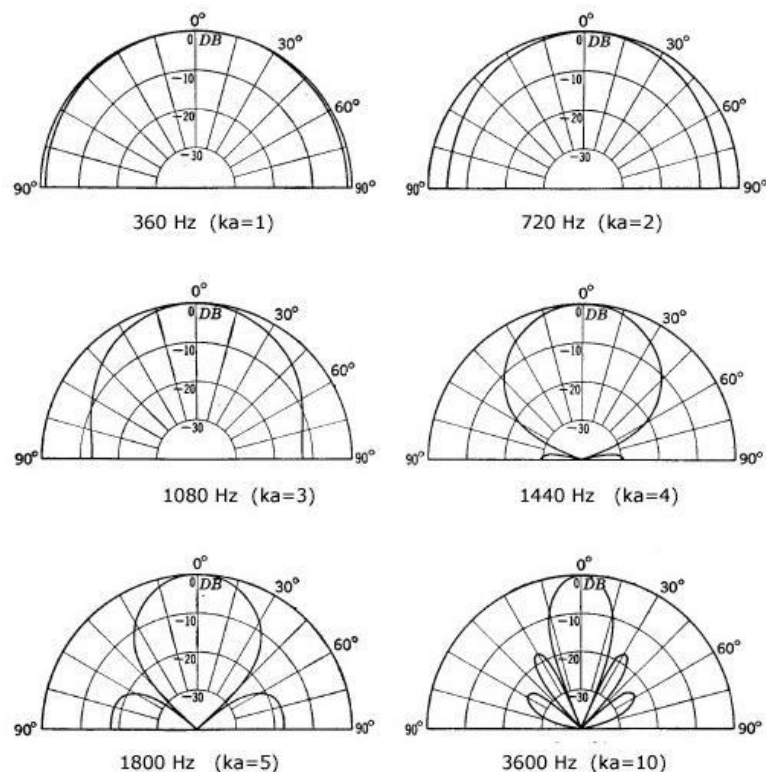


### Características.

Una *fente 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.** Diagrama de directividad del plano horizontal de una caja acústica,  $k$ : número de onda y  $a$ : diámetro del diafragma del altavoz (Davis, 1983).



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.

### 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* o *lg*. Para logaritmos naturales o neperianos (en base  $e$ ) la nomenclatura es  $Ln$  (ANSI,1994). La expresión matemática es

$$L = \log_r \left( \frac{q}{q_0} \right)$$

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

$q_0$  cantidad de referencia de la misma naturaleza ó tipo

### 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  $\mu$ Pa) (ANSI,1994). Unidad, dB. Abreviatura NPS ( $SPL$ : sound pressure level). Símbolo,  $L_p$

$$L_p = \log_{10} \left( \frac{p^2}{p_{ref}^2} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{p}{p_{ref}} \right) [dB]$$

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  $\mu$ Pa (20x10<sup>-6</sup> Pa) hasta 100 Pa. El valor de 20  $\mu$ 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.

### 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 LAT.



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

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<sup>2</sup>)

$P_{ref}$ : Presión sonora de Referencia (reference sound pressure) (20 x 10<sup>-6</sup>Pa, N/m<sup>2</sup>)

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 – LAT).

### Desarrollo

Lo primero es seleccionar el sistema de medición, para una correcta adquisición de la señal de entrada, para este trabajo se eligió un micrófono con bobina móvil marca Samson modelo R21s. Se utilizó una placa de sonido integrada y un software de medición, en este caso el REW 5.0, para procesar los datos obtenidos.

Una vez elegido el sistema de medición se procede a la calibración del mismo, Para esto recurrimos al uso de instrumentos de precisión suministrados por la cátedra. Dichos elementos son un sonómetro digital, y un monitor como fuente sonora. Desde dicho monitor se emitió la señal de calibración (ruido rosa), y frente a él, aproximadamente un metro de distancia se colocaron físicamente a la par el sonómetro y el micrófono que utilizaríamos para el ensayo.

Dado que tenemos constancia de que lo medido por el sonómetro digital es preciso, este valor se puede usar como referencia. Por lo tanto en el marco de calibrar nuestro sistema de sonido, asignamos el valor que muestra el sonómetro, al medidor de nivel de presión sonora (SPL Meter) de REW, y así el sistema interpretará a partir de aquí dicha presión con esa magnitud, y las mediciones efectuadas serán relativamente correctas.

Una vez calibrado el sistema es necesario hacer algunas mediciones de prueba para verificar los niveles del piso de ruido eléctrico y acústico. El ruido eléctrico es aquel que es captado por el sistema, aun habiendo apagado el micrófono, y que es producido por la interferencia electromagnética que es generada por el sistema eléctrico y por diversos procesos de la computadora. Y el ruido acústico es todo aquella interferencia del medio ajena a la fuente sonora a medir, como por ejemplo interferencia del micrófono, propiedades acústicas del recinto, o fuentes sonoras extrenas.



En este caso los niveles de piso de ruido fueron:

Piso de ruido eléctrico: 55.4 dB

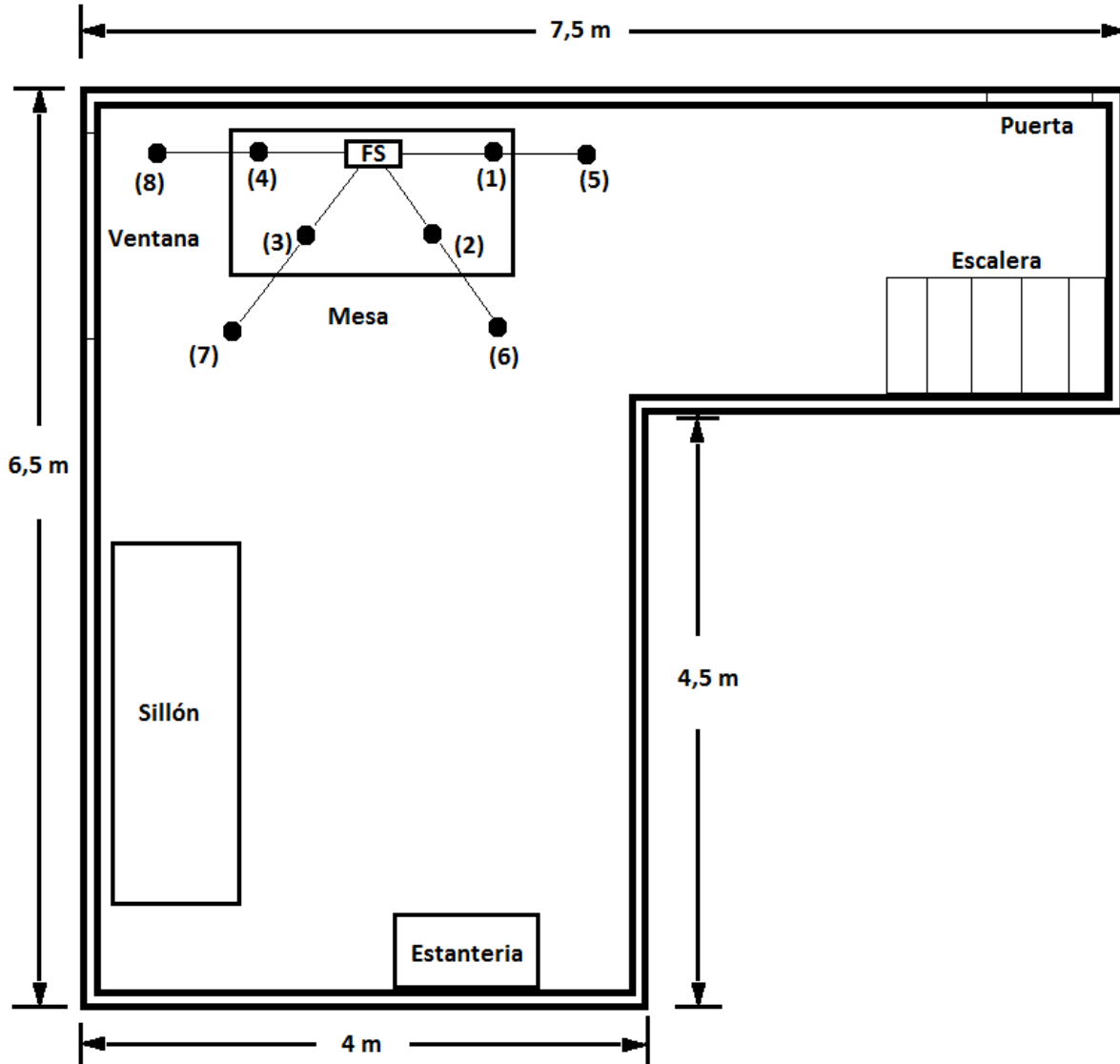
Piso de ruido acústico: 64.3 dB

Son importantes estos valores, ya que hay que evitar que el ruido enmascare a la señal a medir, por lo tanto los valores de niveles de presión sonora a utilizar para las pruebas deben superar ampliamente el piso de ruido.

Para este trabajo práctico se seleccionó un parlante inalámbrico comercial SOUNDFREQ modelo (FFQ=04) con dimensiones 25x6 cm.



En la siguiente figura se muestra un croquis con la ubicación de la FS con respecto al entorno en el que se encuentra, en donde se marcan los diferentes puntos de medición los cuales están ubicados a una distancia de 50 cm (1, 2, 3 y 4), y 1 m (5, 6, 7 y 8) con respecto a la FS y espaciados a 60° uno con respecto al otro. La distancia de los puntos a la FS se eligió considerando que estén dentro del campo directo (el doble de la dimensión mayor de la fuente sonora). La medición se ha efectuado, en un ambiente de dimensiones pequeñas pero sin acustización alguna, con una componente reverberante, y ruidos externos.



Otro parámetro a tener en cuenta son las condiciones de la atmósfera, dado que cambian las características que hacen a la transmisión de las ondas acústicas. Para valernos de dichos datos nos remitimos al sistema meteorológico nacional.

Vale aclarar que más allá que observamos la magnitud y orientación del viento, este no se tiene en cuenta porque la medición se efectúa en un espacio cerrado.

Presión estática	965.8 hPa
Humedad relativa	78%
Temperatura ambiente	15.2 °C
Velocidad del viento	5Km/h (Este)



Las diferentes mediciones se efectuaron en condiciones idénticas para los 8 puntos. La señal utilizada para que emita la fuente fue el ruido rosa, dada su densidad espectral de potencia es la adecuada para poder interpretar la respuesta del parlante.

Verificamos que el nivel de presión sonora sea siempre el mismo, y que supere ampliamente el piso de ruido. Así procedimos efectuar la medición de los siguientes parámetros:  $L_{ASmin}$ ,  $L_{ASmax}$ ,  $L_{AFmax}$ ,  $L_{AFmin}$ ,  $L_{CSmax}$ ,  $L_{CSmin}$ ,  $L_{CFmax}$ ,  $L_{CFmin}$ ,  $L_{Zmax}$ ,  $L_{Zmin}$ ,  $L_{Zpeak}$ ,  $L_{Aeq}$ ,  $L_{Ceq}$  y  $L_{Zeq}$ . Refiriéndose los subíndices A, C y Z a las ponderaciones frecuenciales, y, S (slow) y F (fast) a las constantes de tiempo. Max y Min hacen referencia a los valores de pico máximos y mínimos respectivamente. Todos estos parámetros presentan sus magnitudes en  $dB_{SPL}$ .

La ponderación A es la estándar de las frecuencias audibles diseñada para reflejar la respuesta al ruido del oído humano, que no es muy sensible a frecuencias bajas y altas, pero sí lo es entre 500 Hz y 6 kHz aproximadamente. El filtro de ponderación A cubre el rango completo de frecuencia de 20 Hz a 20 kHz, pero la forma se aproxima a la sensibilidad de frecuencia del oído humano, por lo tanto el valor ponderado en A de una fuente de ruido es una aproximación a cómo percibimos el ruido. La ponderación C es la estándar de las frecuencias audibles usadas comúnmente para la medición del nivel de presión Sonora Peak. En altas frecuencias sigue a la curva de ponderación A, pero presenta mayor amplitud en bajas frecuencias. La ponderación Z es una respuesta de frecuencia plana entre 10Hz y 20kHz  $\pm 1.5dB$  excluyendo la respuesta de micrófono.

La siguiente tabla se muestra los valores de nivel de presión sonora medidos en los distintos puntos

	1	2	3	4	5	6	7	8
$L_{ASmax}$	67.2	72	72.5	68.4	64.2	66.6	66.5	66.2
$L_{ASmin}$	66.7	71.5	71.9	67.3	63.9	66.1	66.1	64.9
$L_{AFmax}$	67.3	72.2	72	68.4	64.4	66.9	66.4	66.4
$L_{AFmin}$	66.4	71.3	71.7	67.5	63.7	66.5	66	65.1
$L_{CSmax}$	69.9	73.2	75	77.4	67	68	68.1	68
$L_{CSmin}$	69.1	72.7	74	71	66.4	67.2	67.6	66.6
$L_{CFmax}$	69.7	73.9	76.3	77.3	66.9	68	68.2	68.5
$L_{CFmin}$	69.2	72.4	74.5	71.3	66	67.3	67.5	66.7
$L_{Zmax}$	70.8	73.5	75	73	68.5	69	69.2	69.1
$L_{Zmin}$	70	73.1	74.1	72.1	67.7	68.6	68.7	68
$L_{Zpeak}$	84.6	87.3	88.7	85.8	83.4	83.7	84.8	83.2
$L_{Aeq}$	66.9	71.7	72.3	68	64.1	66.3	66.3	65.3
$L_{Ceq}$	70.5	71.7	72.3	71	68.2	66.9	66.8	69.1
$L_{Zeq}$	70.9	71.9	72.7	71.2	68.6	67	66.7	69.6

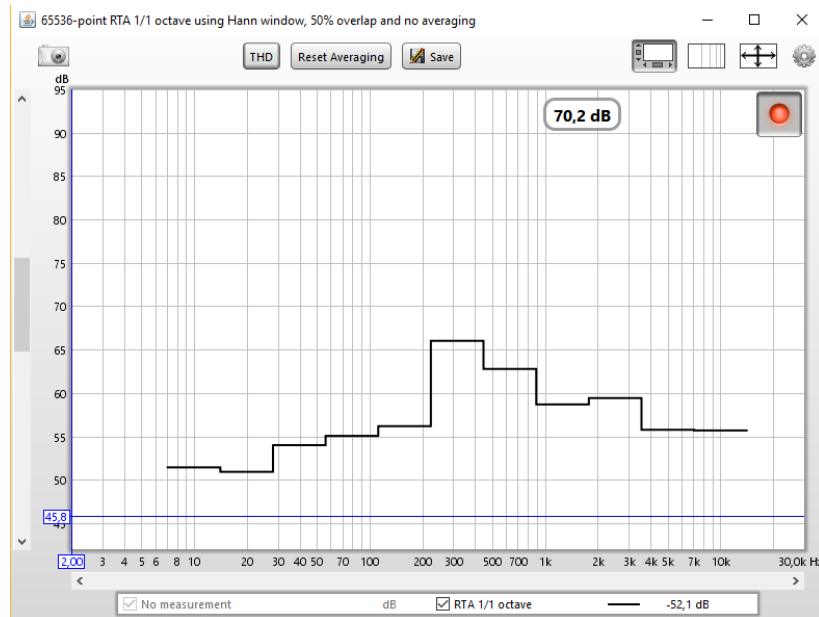
Para los niveles de presión sonora equivalentes ( $L_{Aeq}$ ,  $L_{Ceq}$  y  $L_{Zeq}$ ), se consideró un tiempo de integración de un 1 minuto para cada muestra, dado que en la práctica se observó que el valor promedio se estabilizaba aproximadamente a los 30 segundos, por lo tanto se dejó un margen de tiempo para asegurar que la medición se acertada.



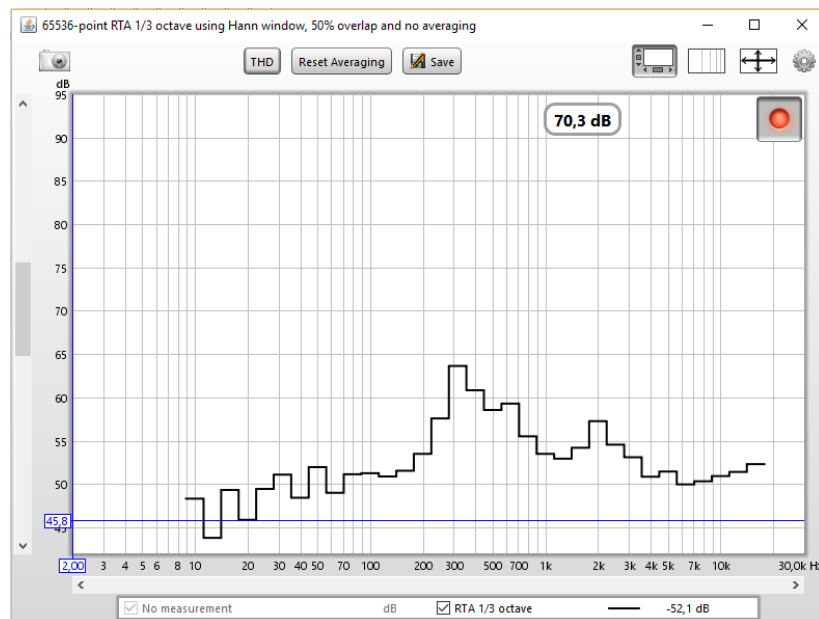
A continuación se encuentran los gráficos con el espectro en frecuencia producido por la fuente en los distintos puntos de medición. Para realizar el análisis se aplicaron filtros normalizados de 1/1 octava y 1/3 octava con una tasa de muestras de 65536 y aplicando una ventana temporal Hanning con un máximo de solapamiento de 50% y sin un promedio.

## Punto 1

### 1/1 Octava



### 1/3 Octava

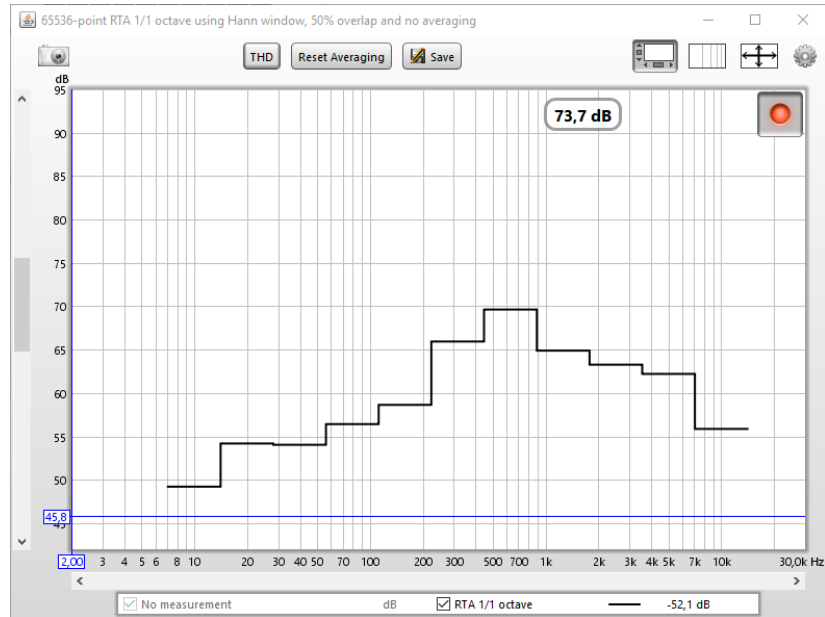




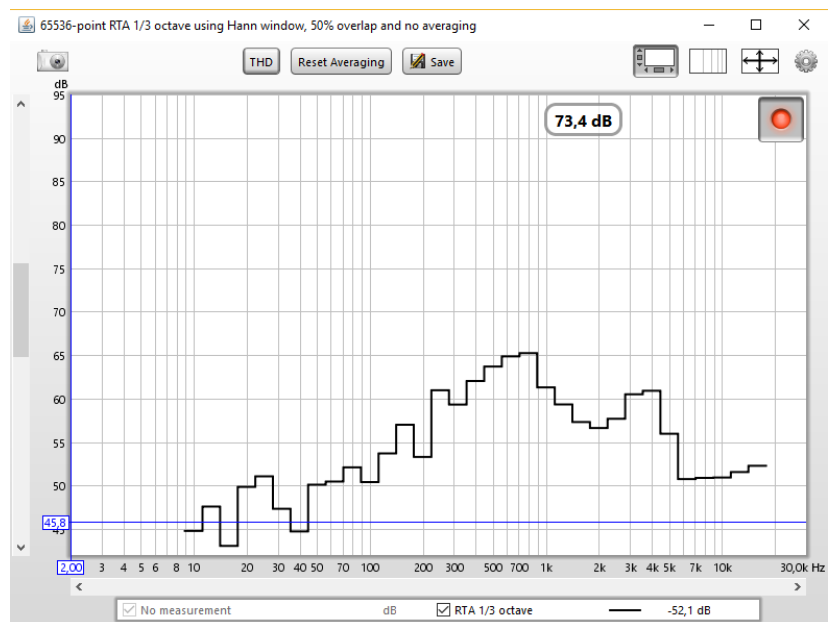


## Punto 2

### 1/1 Octava



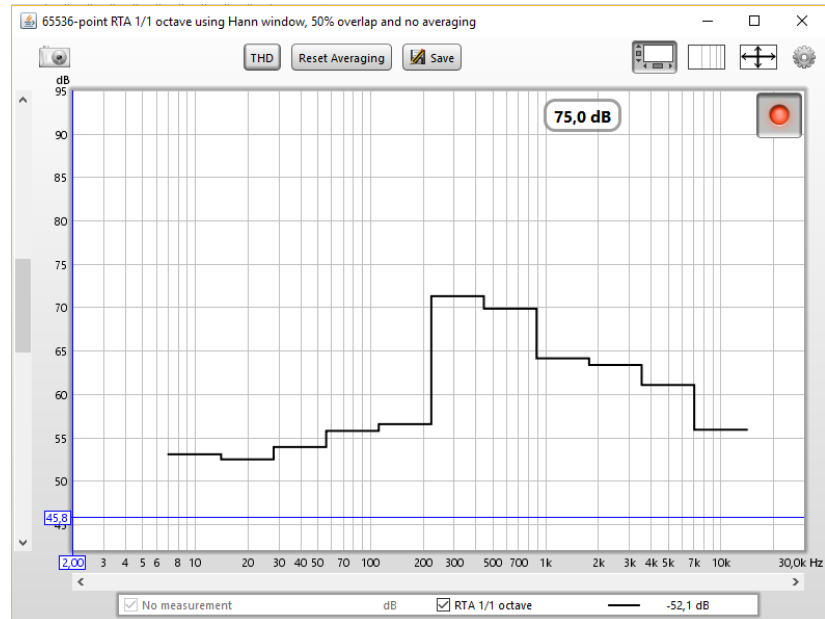
### 1/3 Octava



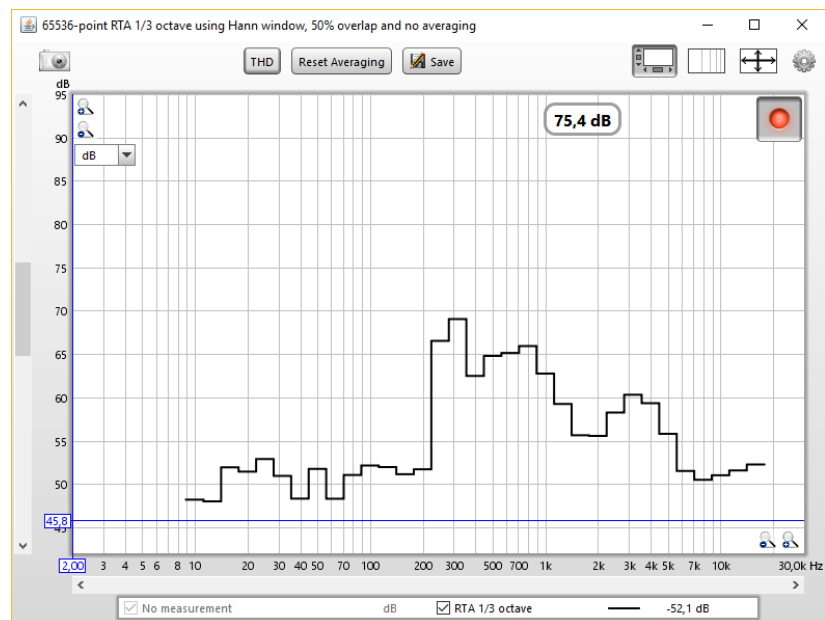


### Punto 3

#### 1/1 Octava



#### 1/3 Octava



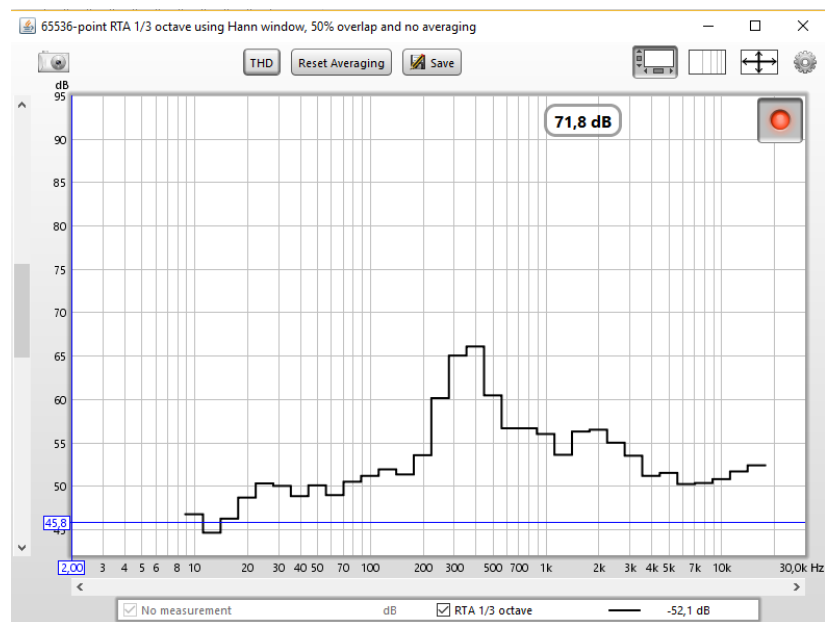


#### Punto 4

##### 1/1 Octava



##### 1/3 Octava



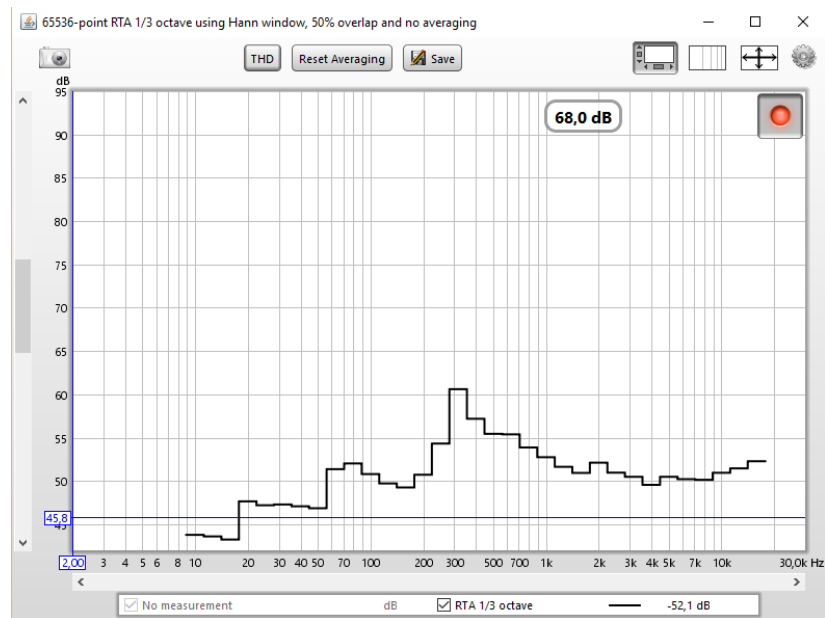


Punto 5

1/1 Octava



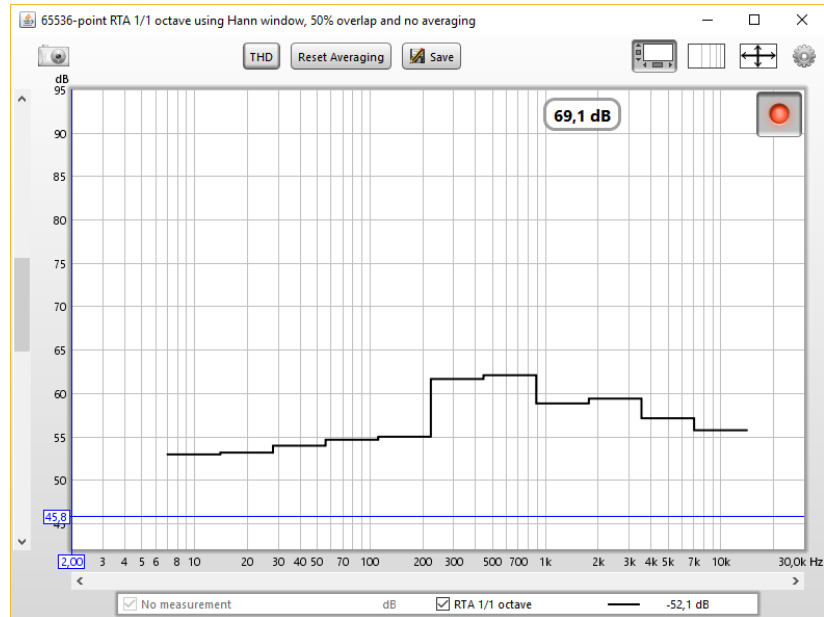
1/3 Octava



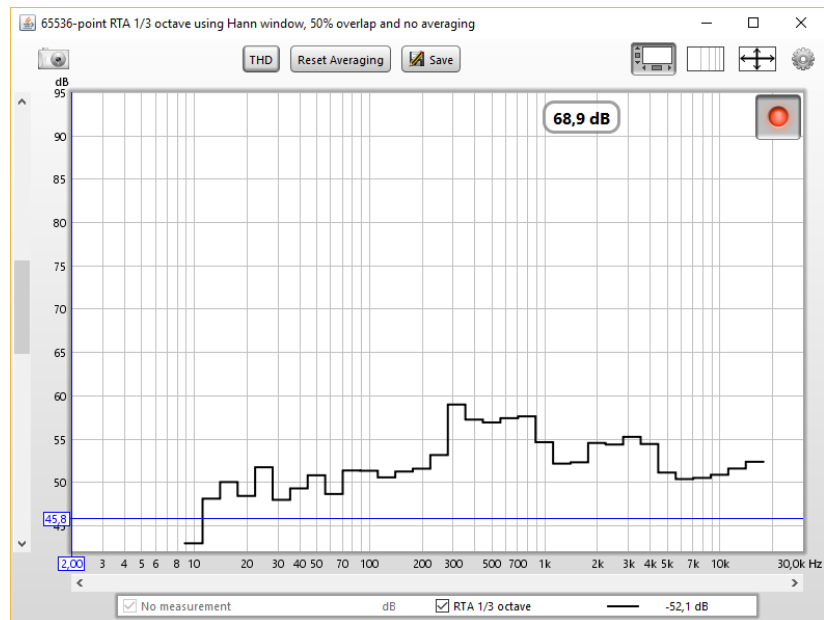


## Punto 6

### 1/1 Octava



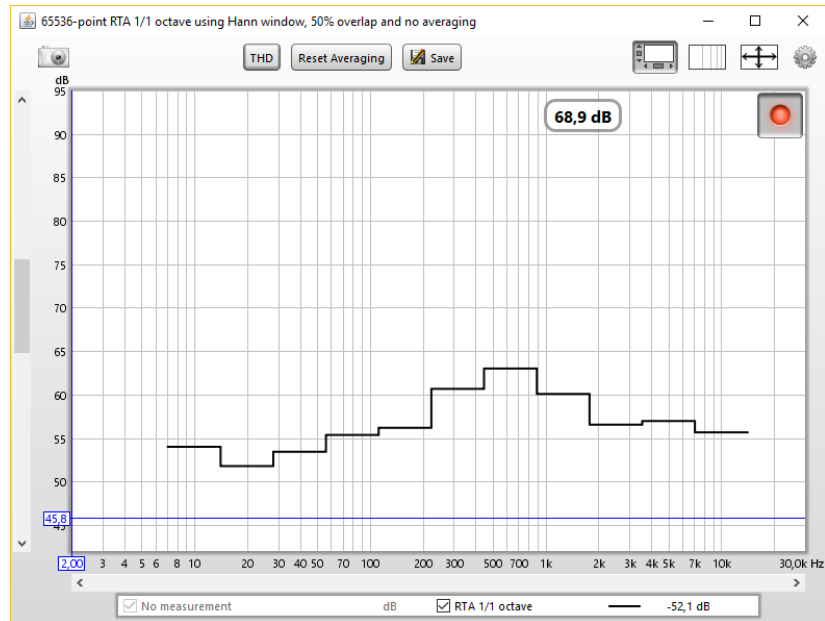
### 1/3 Octava



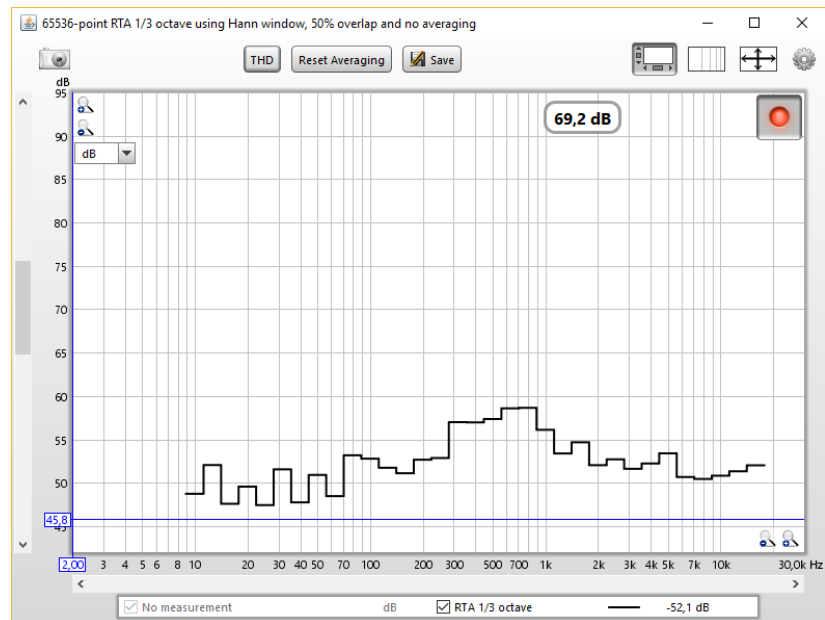


Punto 7

1/1 Octava



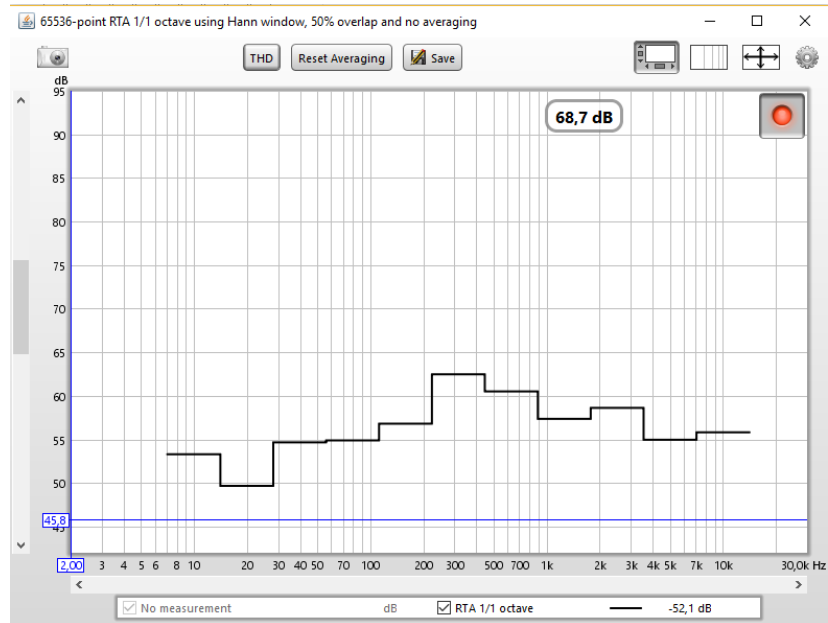
1/3 Octava



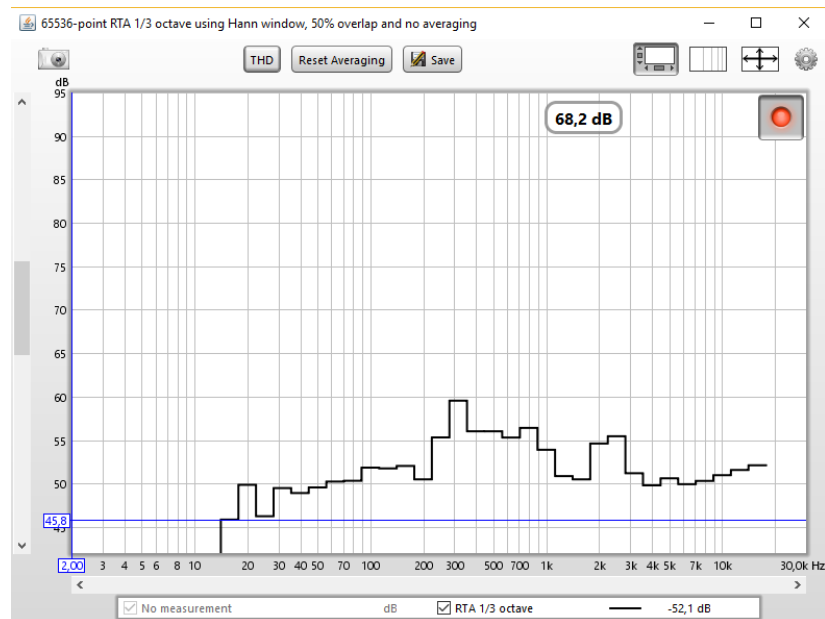


## Punto 8

### 1/1 Octava



### 1/3 Octava





### **Conclusiones**

Una vez realizado el análisis de la fuente sonora debemos tener en cuenta algunas consideraciones para poder sacar una conclusión correcta.

Las mediciones fueron realizadas con equipos de uso comercial, y no con equipos especializados para medición. En este caso el micrófono dinámico tiene una restricción en la respuesta en frecuencia ya que tiene un ancho de banda que va desde los 80 Hz hasta los 12 KHz.

Por otro lado, el recinto utilizado no es apto para estas pruebas, dado que no presenta adaptación acústica alguna, por lo que el sonido podría interferir, destructiva o constructivamente, distorsionando la precisión de los parámetros observados debido a la existencia de nodos. La construcción con materiales altamente reflectantes deja percibir fácilmente un grado de reverberación y no está aislado de las fuentes acústicas externas.

A pesar de lo expresado anteriormente, es posible desarrollar, acorde a los valores observados en las diferentes mediciones, el comportamiento en general de la fuente sonora en estudio.

Una característica interesante, es la amplia diferencia de amplitud entre las ponderaciones A y C, ya sea en los niveles extremos (picos), como en el promedio general. Esto último es lógico, ya que la respuesta en frecuencias medias y bajas de la primera, es considerablemente menor que la segunda. A la vez se observa una similitud en las magnitudes de presión sonora de las ponderaciones C y Z, lo que es coherente dado que, no obstante teóricamente estás presentarían diferencias, la respuesta del micrófono en bajas frecuencias exige una atenuación de las mismas.

También se puede observar que en puntos ubicados en un mismo ángulo pero a distintas distancias se mide una reducción en los niveles de presión sonora, lo que es coherente ya que este nivel es inversamente proporcional a la distancia de este punto con la fuente.

En los gráficos de SPL en función de la frecuencia se puede ver algunas características de la directividad de la fuente ya que en los puntos laterales se puede ver una disminución en los niveles, sobre todos en las frecuencias más altas ya que estas tienden a ser más direccionales.

### **Referencias**

*Fundamentos de acústica y electroacústica- Capítulo II. Universidad tecnológica nacional, facultad regional Córdoba*

*Miyara F. (1999), "Acústica y Sistemas de Sonido". Editorial UNR, Rosario.*