

# ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICO ACÚSTICAS Y DESCRIPTORES APLICADOS AL ESTUDIO DEL RUIDO AMBIENTAL

FEDERICO BOCCO<sup>1</sup>, FRANCISCO GIANA<sup>1</sup> y PAULO L. RAMOS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería Electrónica. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN. FRC). Maestro López esq. Cruz Roja Argentina, CP X5016ZAA, Córdoba, Argentina  
fedebocco87@gmail.com, gianafrancisco@gmail.com, paulor222@gmail.com

**Resumen** – En la actualidad suele hacerse referencia de modo muy diverso al ruido ambiental y sus consecuencias. Ya sea desde el grueso de la sociedad hasta científicos especialistas en el tema se demuestra un importante interés hacia la materia desde puntos de vista muy distintos. Básicamente, lo que se propone en el presente trabajo de investigación es la aplicación de ciertas herramientas, conceptos y características de la física acústica, como así también la realización de diversas experiencias para lograr un grado de entendimiento mayor sobre el fenómeno. Si bien las consecuencias que trae aparejadas éste para el ser humano y la sociedad toda escapan al objetivo y a los puntos de tratamiento de este trabajo, arroja un manto de claridad sobre el enfoque físico acústico.

Para tal fin se recurre al uso de instrumentos de medición de propósitos generales, programas específicos para medición y análisis en el dominio del tiempo y de la frecuencia, etc. Los resultados son presentados en tablas y gráficos que simplifican la tarea de extraer las debidas conclusiones.

## 1. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo consta de un análisis y estudio general del ruido ambiental, fundado sobre los principales conceptos de la física acústica. Se parte de experiencias y mediciones realizadas, que si bien no cuentan con el debido rigor científico, brindan una interesante aplicación de los conceptos antes referidos y posteriormente descriptos, como una actividad complementaria que contribuye al afianzamiento de los mismos.

El objetivo del trabajo es el estudio de las fuentes de ruido que se pueden encontrar en la vida cotidiana. En primer lugar, se caracteriza a las fuentes acústicas estudiadas a través de un conjunto de descriptores típicamente utilizados como nivel de presión sonora (SPL), percentiles estadísticos ( $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{90}$  y  $L_{99}$ ), nivel sonoro continuo equivalente ( $Leq$ ). En segundo lugar se clasifica la fuente generadora de ruido, según el tipo de ruido que produce. Esta última clasificación considera la composición espectral y temporal de la señal.

## 2. CONCEPTOS Y TÉRMINOS DE LA FÍSICA ACÚSTICA

### 2.1 Sonido

Se puede definir como cualquier variación de presión que puede ser detectada por el oído humano [1]. El número de variaciones de presión por segundo se llama frecuencia del sonido y se mide en hercios (Hz). La percepción auditiva normal, en función de la frecuencia, de una persona joven saludable comprende un espectro definido entre 20 Hz hasta 20000 Hz.

En términos de niveles de presión sonora, el sonido audible varía desde el umbral auditivo de 0 dB hasta el umbral del dolor de 130 dB o más. Aunque un aumento de 6 dB representa doblar la presión sonora, se requiere un aumento de entre 8 y 10 dB para que, de forma subjetiva, el sonido parezca ser significativamente más alto (el doble). De manera similar, el mínimo cambio perceptible es del orden de 1 dB.

### 2.2 Ruido

Los seres humanos estamos expuestos a ondas sonoras en forma cotidiana. Algunas de las ondas sonoras que inciden sobre nuestros oídos contienen información deseada o útil. Otras de ellas son parte de un entorno natural y están tan integradas a nuestra percepción del ambiente, que muchas veces ni siquiera notamos. Sin embargo, existe otro tipo de ondas sonoras que no son bien acogidas. Estos sonidos no deseados reciben el nombre de **ruido**.

El ruido puede provocar efectos de muy variada índole, que van desde simples molestias hasta problemas clínicos no reversibles o alteraciones psíquicas severas.

La variedad de ruidos que puede percibir una persona es infinita. Las principales variables que definen físicamente a un ruido son: sus componentes espectrales, su dinámica temporal, sus amplitudes, sus fases relativas y su duración.

### 2.3 Fuentes Sonoras

Es cualquier objeto capaz de producir vibraciones mecánicas en un medio elástico, ya sea gaseoso, líquido o sólido [2].

**Fuente Puntual:** es aquella en que las dimensiones del objeto son pequeñas comparada con la distancia al oyente. En este tipo de fuentes el sonido se propaga como una onda esférica y el NPS disminuye 6 dB a medida que se dobla la distancia entre el oyente y la fuente [4].

**Fuente Lineal:** es aquella que presenta una geometría estrecha en una dirección y larga en otra comparada con la distancia al oyente. Este tipo de fuente genera una onda que se propaga en forma cilíndrica, donde el NPS disminuye 3 dB a medida que se dobla la distancia entre el oyente y la fuente [4].

## 2.4 Tipos de Ruido

Los ruidos se pueden clasificar de varias maneras: por su carácter temporal (ruido constante, intermitente, fluctuante, de impacto, periódico, etc.); por sus características espectrales (tono puro, ruido de banda estrecha, banda ancha, blanco, rosado, etc.); por su naturaleza (fuente o ámbito del que proviene u otra característica peculiar, por ejemplo ruido comunitario, ruido industrial, ruido aeronáutico, etc.); por su contenido semántico (significado asociado); por su nivel sonoro (alto, medio, bajo); etc.

## 2.4 Nivel de presión sonora NPS (SPL ó $L_p$ )

El nivel de presión sonora NPS de un sonido, en decibel, es 20 veces el logaritmo de base 10 de la relación de la presión sonora efectiva de la presión sonora eficaz de referencia [6]. Esto es:

$$SPL = 20 \log_{10} \left( \frac{p(t)}{p_0} \right) \quad (1)$$

## 2.5 Nivel sonoro continuo equivalente ( $L_{eq}$ )

Es el nivel sonoro que tendría un ruido constante en el mismo período de tiempo que el ruido medido. El  $L_{eq}$  da cuenta de la energía sonora en un determinado lapso de tiempo y es ampliamente utilizado [3].

$$L_{eq} = 10 \log \left( \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right) \quad (2)$$

## 2.6 Nivel máximo ( $L_{max}$ )

Nivel sonoro más alto que se registra durante un período de medición (dB) [3].

## 2.7 Nivel mínimo ( $L_{min}$ )

Menor nivel que se registra durante un intervalo de medición (dB) [3].

## 2.8 Percentiles ( $L_{10}$ , $L_{50}$ , $L_{90}$ , etc.)

Nivel sonoro que es superado determinado porcentaje del tiempo de medición. Cuánto más chico es el porcentaje de tiempo, más alto será el nivel a superar. Por ejemplo, el  $L_{90}$  es el nivel sonoro que fue superado el 90 % del tiempo de medición, por lo cual se suele emplear para registrar el ruido de fondo existente. Por el contrario, el  $L_{10}$  registrará un nivel que incluirá sólo los eventos más sonoros, los cuales en total estuvieron presentes tan sólo el 10% del tiempo de medición (dB) [3].

## 2.9 Suma y Resta de Niveles Sonoros

La suma de niveles sonoros puede realizarse de diferentes maneras, según la forma en que estén expresados los valores obtenidos. La forma más común de expresar los niveles sonoros en dB, en este caso la suma no puede realizarse en forma directa como si se haría con niveles expresados en forma lineal (Pa), para solucionar este problema se puede recurrir al uso de ábacos, o al uso de expresiones algebraicas, si se va hacer uso de expresiones algebraicas se utiliza la ecuación 3 y si el uso de va a realizar por ábaco las figuras 1 y 2 muestran la relación existente entre las fuentes.

$$L_{result} = 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{Lp1}{10}} + \dots + 10^{\frac{Lpn}{10}} \right) \quad (3)$$

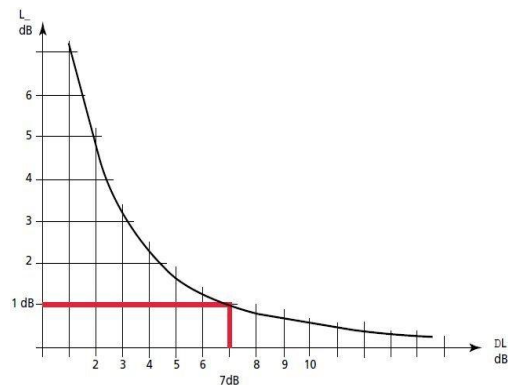


Figura 1: Abaco suma de niveles sonoros [4].

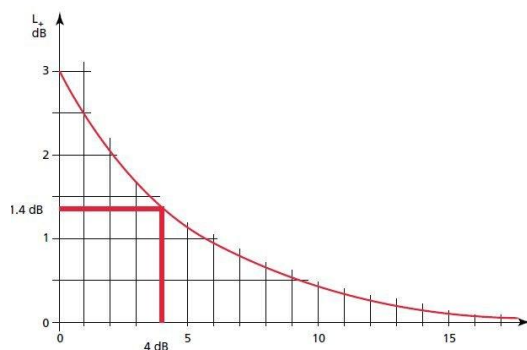


Figura 2: Abaco resta de niveles sonoros [4].

El procedimiento de suma o resta es simple, lo que se necesita es realizar la medición de las dos fuentes por separado, luego de esto sacamos la diferencia de los niveles de señal y con esa diferencia entramos en el ábaco por el eje de las abscisas y donde corta la grafica observamos el nivel que se tiene que sumar o restar a la fuente de mayor nivel.

### 3. EXPERIENCIA: SUMA DE NIVELES SONOROS

#### 3.1 Descripción de la experiencia

El objetivo de esta experiencia es la de comprobar en forma práctica la relación entre dos fuentes sonoras, una interna y otra externa en una habitación, la fuente interna es un equipo de música que por la disposición respecto al receptor se considerarse como una fuente puntual, y la externa es el ruido del tránsito que ingresa por la ventana cuando está abierta.

#### 3.2 Procedimiento de medida

Para efectuar la medición lo primero que se hizo es llevar a la fuente sonora interna a un nivel comparable con el nivel de la fuente externa, para que la diferencia entre los dos niveles no sea tan grande que haga despreciable el aporte de una fuente respecto a la otra. Como paso siguiente lo que se hizo es tomar las mediciones de la fuente interna durante 2 minutos, luego se abrió la ventana de la habitación y se apago la fuente interna para poder medir el ruido que ingresa por la ventana durante 2 minutos, una vez medidas las 2 fuentes como último paso fue realizar una medición con la fuente interna encendida y ventana abierta para que ingrese el ruido del tránsito.

Las mediciones fueron realizadas con el Software REW 5.0, la placa de sonido utilizada fue Realtek High Definition Audio, conectada a la salida de audio de un instrumento de medición "Sound Level Tester 2310SL" de la empresa Standard Electronic Works CO, LTD. Las muestras fueron procesadas en con la constante de integración Slow y con la curva de ponderación A para simular la respuesta del oído humano.

La disposición de las fuentes y el transductor fue tal de forma que en punto en medición se encuentre en campo libre, para poder comprobar esto en forma experimental se puso a muestrear la fuente y se comenzó a tomar mediciones en distintos puntos de la habitación de forma que la medición se pueda considerar despreciable la reflexión con las paredes.

Las dimensiones de la habitación son de 5 m x 3,5 m con paredes de ladrillo hueco, el diagrama puede ser observado en la figura 3.



Figura 3: Disposición de las fuentes.

#### 3.3 Resultado de las mediciones

Las figuras 4, 5 ,6 y 7 muestran los distintos resultados de las mediciones, y la tabla 1 se observa el resultado del último valor del Leq generado por el Software REW 5.0.

La como se explico anteriormente podemos calcular en forma teórica el valor que se debería medir en la suma de las dos fuentes sonoras en conjunto, y para esto se va hacer uso del ábaco representado en la figura 1, para el caso de esta experiencia los niveles obtenidos los podemos leer en la tabla 1 para las distintas situaciones, de esta forma vemos que la diferencia entre los niveles medidos en las dos fuentes es de

$$\Delta dB = 62,07 - 57,67 = 4.4 \text{ dB}$$

Entrando al ábaco por el eje de las abscisas obtenemos que el aporte que realiza la fuente de ruido externa sobre la interna sea de 1.4dB por lo que en la medición de las dos fuentes medidas de manera simultánea debería ser de 63,47 dB.

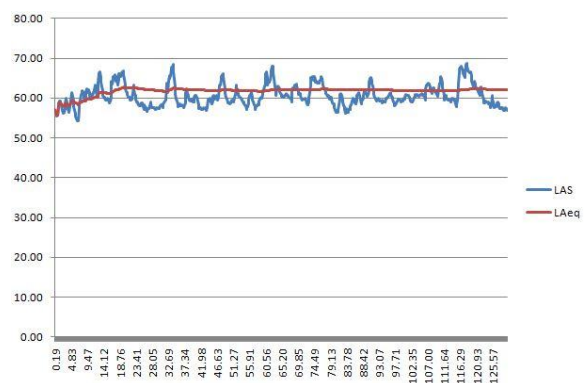


Figura 4: Medición de la fuente interna. En ordenadas NPS, en abscisas tiempo en s.



Figura 5: Medición de la fuente externa. En ordenadas NPS, en abscisas tiempo en s.

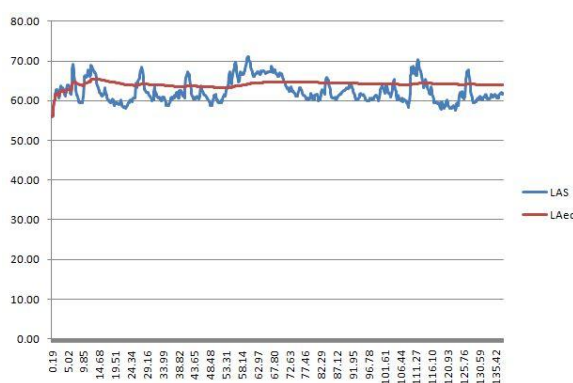


Figura 6: Medición de la fuente interna y externa. En ordenadas NPS, en abscisas tiempo en s.

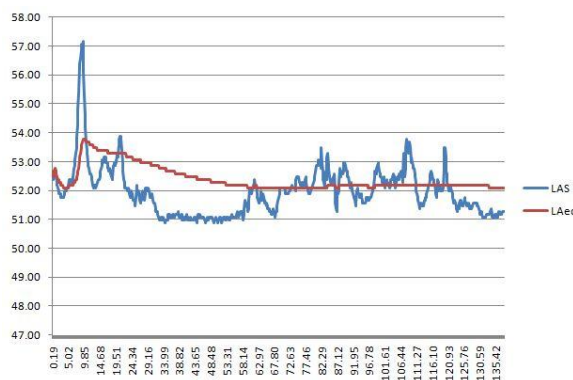


Figura 7: Medición del ruido de fondo de la habitación.

Fuente	Leq [dB(A)]	L <sub>90</sub>	L <sub>10</sub>
Interna	62,07	57,50	64,50
Externa	57,67	53,20	61,50
Interna + Externa	63,97	59,40	67,00
Ruido de fondo	52,07	51,00	52,90

Tabla 1: Resultados de la medición del Leq, L<sub>90</sub> y L<sub>10</sub>.

### 3.4 Conclusiones

Los resultados observados en la experiencia anterior presentan algunas discrepancias con los cálculos teóricos, pero esto puede ser errores

atribuidos a la falta de experiencia en mediciones acústicas.

Un error de 0,5 dB se lo podría atribuir al método de medición, como por ejemplo la ubicación de la fuente, una mala calibración del instrumento de medición, entre otras. Pero de todas formas las mediciones obtenidas concordaron con las predicciones teóricas explicadas en los puntos anteriores.

Se plantea como mejoras del experimento repetir las experiencias en un lugar más amplio para reducir al mínimo el problema de las reflexiones y asegurarnos de esta manera que la fuente se ubique dentro del campo libre, o que el revestimiento de las paredes sean absorbentes así despreciamos el efecto de reflexión en la habitación.

## 4. EXPERIENCIA: RUIDO TRÁFICO DE CARRETERA

### 4.1 Descripción de la experiencia

El objetivo de la experiencia es la caracterización del ruido proveniente del tránsito a partir de las mediciones realizadas en un punto de la ciudad de Córdoba sito en Av. Valparaíso y Chile (frente al Ministerio de Finanzas), alrededor de las 20 hs, el día Miércoles 4 de Mayo de 2011.

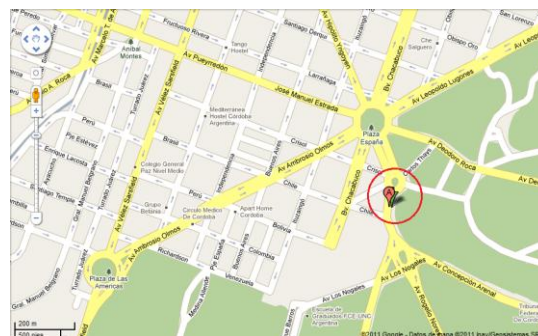


Figura 8: Ubicación geográfica de la medición [5].

### 4.2 Procedimiento de medida

Las mediciones fueron realizadas con el Software REW 5.0, la placa de sonido utilizada fue Realtek High Definition Audio, conectada a la salida de audio de un instrumento de medición "Sound Level Tester 2310SL" de la empresa Standard Electronic Works CO, LTD. También se realizó un registro grabado de las capturas de audio mediante el programa Adobe Audition 3.0 para poder realizar una posterior caracterización desde el punto de vista de la composición espectral del ruido. Para realizar esta medición se debieron tener en cuenta los siguientes factores:

- Tipo de fuente (puntual o lineal)
- Distancia desde la fuente
- Absorción atmosférica
- Viento
- Temperatura y gradiente de temperatura

- Obstáculos, tales como barreras y edificios
- Absorción del terreno
- Reflexiones
- Humedad
- Precipitación

La experiencia constó en mediciones repetidas en metodología, tomando el ruido aportado por una fuente repetitiva de tipo lineal, en este caso la calle, cambiando en cada ocasión la distancia entre el instrumento de medición y la fuente. Todos los datos fueron adquiridos en el modo de operación de la curva de ponderación A, ya que de esta forma tenemos un indicio de cómo afecta este tipo de ruido al oído humano.

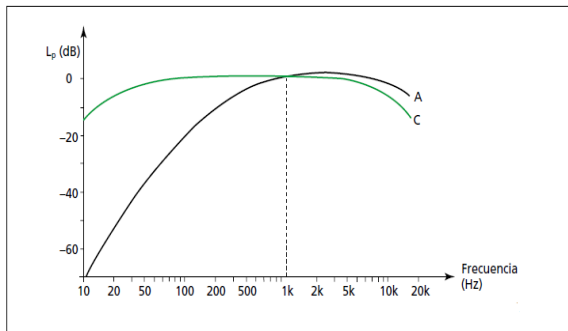


Figura 9: Curvas de ponderación  $L_p$  (dB) para distintas frecuencias [1].

El nivel de sonido se propaga cilíndricamente, por lo que el nivel de presión sonora es el mismo en todos los puntos a la misma distancia de la línea y disminuye en 3 dB al doblar la distancia. Esto se mantiene así hasta que el efecto del terreno y la atenuación del aire influyen de forma notoria al nivel. Para una fuente lineal con nivel de potencia sonora por metro (W/m) localizada cerca del suelo, el nivel de presión sonora ( $L_p$ ) a cualquier distancia ( $r$ , en m.) desde la fuente puede ser calculado a partir de la ecuación [4]:

$$L_p = L_W - 10 \log_{10}(r) - 5 \text{ dB} \quad (4)$$

Se trata de comprobar experimentalmente esta relación conocida como “ley de la inversa de los cuadrados de la distancia”.

### 4.3 Resultados de las mediciones

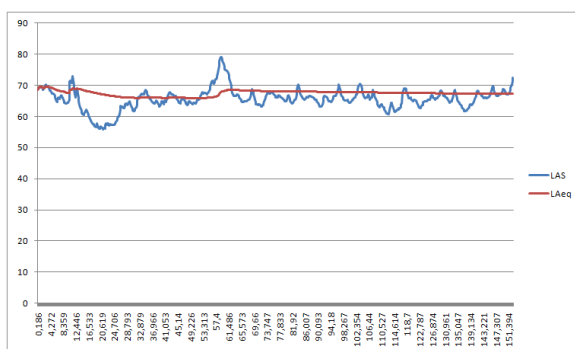


Figura 10: Medición a 4 metros.

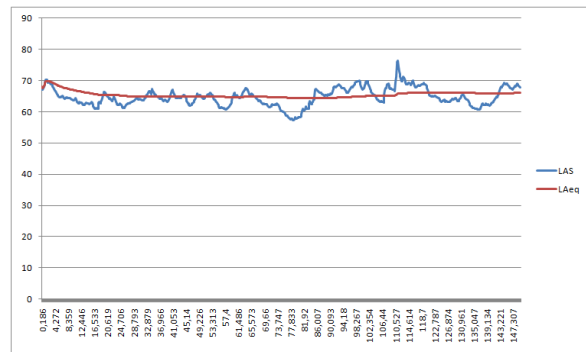


Figura 11: Medición a 8 metros. En ordenadas NPS, en abscisas tiempo en s.

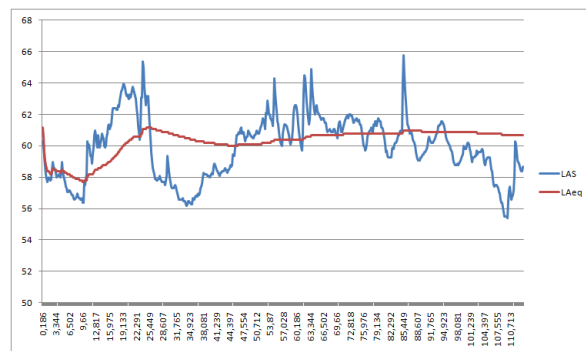


Figura 12: Medición a 16 metros. En ordenadas NPS, en abscisas tiempo en s.

Fuente	Leq [dB(A)]	$L_{90}$ [dBA]	$L_{10}$ [dBA]
4 m	67,77	61,8	68,9
8 m	65,97	61,2	68,6
16 m	63,77	57,0	62,3

Tabla 2: Resultados de mediciones de Leq y Percentiles.

### 4.4 Análisis espectral

En las figuras 13, 14 y 15 se observan los espectros de frecuencia en escala lineal de frecuencia (de 0 Hz a 20 kHz), para las posiciones de 4 m, 8 m y 16 m respectivamente.

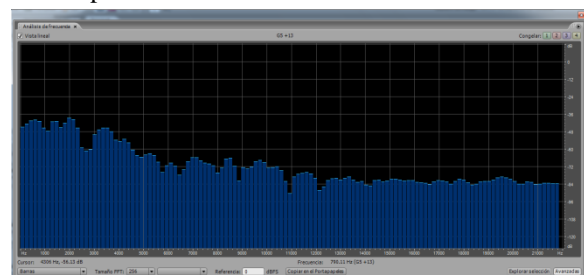


Figura 13: Composición espectral medición 4 m.

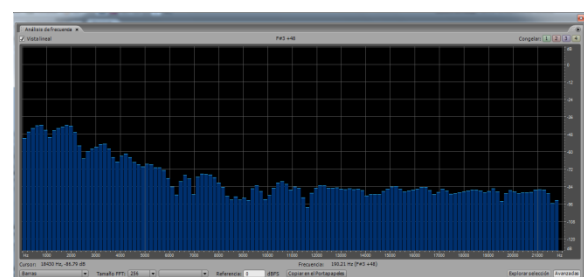


Figura 14: Composición espectral medición 8 m.



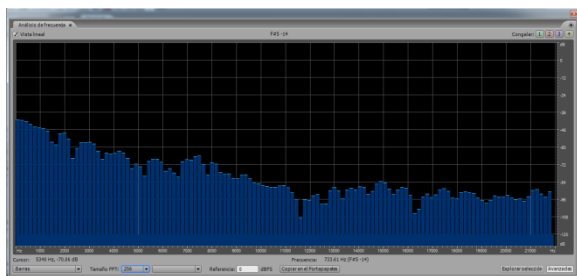


Figura 15: Composición espectral medición 16 m.

## 4.5 Conclusiones

Los resultados arrojados por las mediciones en cuanto a los niveles de presión sonora continuos equivalentes presentes vienen a comprobar experimentalmente, salvo un cierto error presente, lo enunciado por la ley de la inversa de los cuadrados de la distancia, como era de prever. Por otro lado al comparar los percentiles  $L_{10}$  y  $L_{90}$  a medida que se dobla la distancia entre el instrumento y la fuente si notamos una disminución entre los 8 m y los 16 m, no así entre los 4 m y los 8 m donde el valor de ambos permanece prácticamente constante. Al igual que en la experiencia anterior los errores pueden ser introducidos tanto por el operario, el instrumento o el método ya que no tenemos acceso a la norma que establece como se debe realizar la medición ni la experiencia suficiente para llevar a cabo la tarea.

Desde el punto de vista de la composición espectral se evidencia un notable decremento de la amplitud en las bandas superiores a los 5 kHz. Denotando la preponderancia de las bajas frecuencias en la composición del ruido proveniente del tráfico vehicular. Esta es otra de las cuestiones que vuelve más propicia a la curva de ponderación A a la hora de medir este tipo de ruido.

## ANEXO: Medidor de Nivel Sonoro SEW 2310 SL



Figura 7: Instrumento de medición SEW 2310 SL.

Measuring Ranges	Lo : 32dB ~ 80dB Med : 50dB ~ 100dB Hi : 80dB ~ 130dB
Accuracy	+/- 1.5dB (at Reference Range)
Reference Sound Level & Frequency	94dB, 1k Hz
Resolution	0.1dB

Detector-Indicator Characteristic	Fast : 125ms, Slow : 1s
Analog Signal Output	AC 1Vrms for each range
Dimensions	235(L) x 58.4(W) x 34(D)mm
Weight (prox)	220g (battery included)
Power Source	9V (6F22.006P) x 1 battery
Accessories	Instruction manual Adjusting bar Battery Sponge cover Heavy-duty case

Tabla 2: Especificaciones técnicas SEW 2310SL.

## REFERENCIAS

- [1] Brüel & Kjær. "Basic Concepts of Sound". Lecture Note- BA7666-11. Copyright© 1998
- [2] Ferreyra Sebastián P. "Fundamentos de Acústica y Electroacústica". Capítulo 2: Física Acústica — Rev 1.0. 2011.
- [3] Kogan Musso Pablo "Análisis de la Eficiencia de la Ponderación "A" para Evaluar Efectos del Ruido en el Ser Humano". Escuela de Ingeniería Acústica Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Valdivia -. Chile 2004.
- [4] Brüel & Kjær. "Environment Noise" Booklets BR1630-11.
- [5] Google Maps <http://www.googlemaps.com>
- [6] Beranek Leo L. "Acústica" Copyright. © 1954 by McGraw Hill Book Company, Inc.

## DATOS BIOGRAFICOS

**Federico Bocco**, nacido en Morteros, Córdoba el 24/04/1987. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Actualmente es becario de investigación en el Laboratorio de Sensores e Instrumentación, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Sus intereses son: Procesamiento digital de señales, Telecomunicaciones y Electroacústica. E-mail: fedebocco87@gmail.com

**Francisco Giana**, nacido en Berrotarán, Córdoba el 28/05/1984. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Actualmente trabaja en Tecnored S.A. Sus intereses son: Procesamiento digital de señales, sistemas embebidos y actividades de programación bajo linux. E-mail: gianafrancisco@gmail.com

**Paulo Luciano Ramos**, nacido en Lozada, Córdoba el 05/07/1987. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Sus intereses son: contaminación acústica y Procesamiento digital de señales. E-mail: paulor222@gmail.com