

RUIDO URBANO: MÉTODO DE ESTIMACIÓN DEL NIVEL EQUIVALENTE DE 12 HORAS BASADO EN MEDICIONES DE CORTO TÉRMINO

PACS Nº 43.50.Rq

Velis, Ariel; Posse, Carlos; Iasi, Federico; Armas Alejandro; Vechiatti, Nilda; Tomeo, Daniel y Bufo, Nicolás

Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

Camino Centenario y 506 – Manuel B. Gonnet – Pcia de Bs. As. – Rep. Argentina.

Tel: +54 221484 2686 / 2721

ciclal@gba.gov.ar

Palabras Clave: Ruido ambiental, nivel de ruido equivalente, ventana temporal de ruido, calculo estadístico del ruido, ruido de trafico, ruido urbano.

ABSTRACT

This work proposes a practical and simple method for the estimation of the equivalent noise level of 12 continuous hours in a typical urban environment. This method is based on one or two short term measurements (15 minutes) to estimate the L_{eq} for 12 continuous hours that same day. In addition, it is determined the probabilities that such estimated level can be within a previously established error band.

RESUMEN

En este trabajo se plantea un método práctico y sencillo para la estimación del nivel de ruido equivalente de 12 horas continuas en un ambiente urbano típico. Dicho método se basa en la realización de una o dos mediciones de corto término (15 minutos) y con ellas estimar el L_{eq} correspondiente a 12 horas continuas de ese mismo día. Así mismo, se determinan las probabilidades de que dicha estimación se encuentre dentro de una banda de error establecida previamente.

1 INTRODUCCIÓN

La caracterización del ruido urbano de una ciudad o parte de ella, requiere entre otras cosas, la determinación de diferentes parámetros acústicos. Estos pueden subdividirse en dos grupos:

- a) Los parámetros basados en una integración energética lineal de la presión sonora durante un cierto tiempo "T", normalmente denominados " $L_{eq,T}$ " (Nivel de Presión Sonora Equivalente con tiempo de integración T) donde el tiempo de integración T podrá variar desde algunos segundos o minutos (mediciones de "corto plazo") hasta meses o años ("largo plazo").
- b) Los parámetros basados en una integración energética exponencial de la presión sonora, durante períodos de tiempo fijos (1 segundo para "slow", 0,125 segundos para "fast", etc.). Para un tiempo T mayor que el utilizado para la integración exponencial, se puede obtener un conjunto de valores de estos parámetros con los cuales realizar un análisis estadístico. De esta manera pueden obtenerse, por ejemplo, el nivel máximo alcanzado en ese periodo de tiempo T, el mínimo, parámetros estadísticos L_{xx} , etc.

Un parámetro de largo plazo que suele utilizarse para la caracterización del ruido urbano, o para la realización de mapas de ruido, es el L_{day} . La obtención del L_{day} requiere múltiples mediciones ininterrumpidas de los niveles equivalentes durante periodos “diurnos”. Cada uno de ellos podría abarcar, por ejemplo, desde las 8:00h hasta las 20:00h. En este trabajo se lo denominará como “nivel de 12 horas” o “ $L_{Aeq,12h}$ ”, y será el objeto principal de análisis. El $L_{Aeq,12h}$ variará su valor de un día a otro, lo cual dependerá de la actividad registrada. Así surge que para obtener el L_{day} , se debería considerar el $L_{Aeq,12h}$ de cada uno de los 365 días del año [1]. Para llevar a cabo dicha tarea, es necesario contar con una estación de monitoreo por cada punto a medir, la cual estaría dedicada a dicho trabajo durante al menos un año [5] [6]. Por lo tanto, para la realización de un mapeo con gran cantidad de puntos, se requeriría de una gran cantidad de estaciones, lo cual implicaría contar con importantes recursos económicos.

Este trabajo forma parte de estudios previos [2] [3] [4] y tiene como fin encontrar un método sencillo para reducir los tiempos de medición y poder hallar el $L_{Aeq,12h}$ mediante mediciones de corta tiempo de integración, reduciendo los costos. Se busca así disponer de un método viable para municipios o entidades con modestos recursos, para poder obtener resultados dentro de un margen de error aceptable.

2 ANÁLISIS Y DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE MEDICIÓN

Se denomina en este trabajo como “*tiempo de integración de la medición*” al tiempo establecido para realizar la integración del nivel sonoro en el punto bajo estudio. En base al mismo se estimará con cierta incertidumbre y dentro de una banda de tolerancia, el valor real del $L_{Aeq,12h}$. Obviamente se pretende que la duración de dicho tiempo sea sensiblemente menor que 12 horas. Asimismo, se denomina como “*banda de tolerancia*” a la banda en decibeles dentro de la cual es aceptable la diferencia entre el L_{eq} obtenido en el tiempo de integración escogido y el L_{eq} integrado a lo largo de todo el periodo de 12 horas ($L_{Aeq,12h}$).

3 CONDICIONES INICIALES

Dado que este trabajo es una continuación de estudios anteriores, se parte de condiciones prefijadas y son las siguientes:

- Se excluye el análisis de variabilidad del $L_{Aeq,12h}$ de un día respecto a otro.
- Se limita al estudio del comportamiento de ruido dentro del casco urbano de la ciudad de La Plata, en donde se asume la hipótesis de que los puntos utilizados para la medición no poseen “horarios pico” apreciables, es decir, que el flujo vehicular no varía sensiblemente durante las 12 horas de estudio.
- Se fijan 15 minutos como tiempo de integración de la medición, de acuerdo a lo analizado previamente [2] [3] [4]. Además, es un tiempo muy difundido y utilizado en esta temática [5] [6].
- Se fija una banda de tolerancia de $\pm 1,5$ dB, de acuerdo a lo analizado previamente [2] [3] [4].

4 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN EN CAMPO

Se tomaron puntos con distintas características morfológicas y con diferentes niveles de ruido y flujo vehicular, basándose en mediciones realizadas anteriormente [2] [3] [4]. Se escogieron 6 puntos con elevados, moderados y bajos niveles de flujo vehicular para cubrir las diferentes posibilidades de nivel de ruido urbano existentes en la ciudad. Las características de los mismos son las siguientes:

- Punto 1: 2200 v/h. Cruce de dos avenidas con semáforos. Tráfico fluido, baja velocidad.
- Punto 2: 290 v/h. Cruce de dos calles. Baja velocidad, tráfico escaso, flujo aleatorio.

- Punto 3: 1450 v/h. Cruce de 2 calles y una avenida. Velocidad media y flujo constante.
- Punto 4: 560 v/h. Cruce de una avenida y una calle. Bajo flujo y velocidad (cuneta y reductor).
- Punto 5: 1400 v/h. Única mano, sin cruces. Velocidad promedio 60 km/h. Tráfico fluctuante.
- Punto 6: 1600 v/h. Cruce de una avenida y una calle. Velocidad baja y flujo variable.

4.1 PROCEDIMIENTO

La señal proveniente de la salida de línea de un medidor de nivel sonoro fue registrada durante 12 horas en forma continua en un grabador digital. Se capturó el audio en formato WAV (sin pérdidas) monoaural con una frecuencia de muestreo de 44,1 kHz y una resolución de 24 bits. Se registraron asimismo las condiciones atmosféricas para validar las mediciones, y se realizó un conteo de vehículos para estimar el flujo de tráfico en cada punto. Los registros digitales fueron procesados mediante un software matemático utilizando submuestreos, un filtro de ponderación en frecuencia “A” e integraciones lineales y exponenciales, dependiendo del parámetro que quisiera obtenerse de acuerdo a la Figura 1.

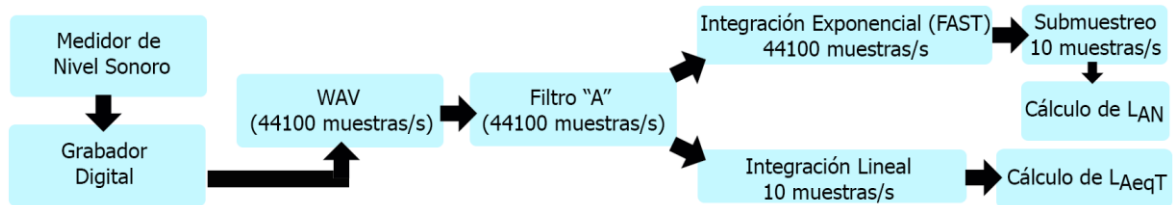


Figura 1. Diagrama en bloques del método de captura y procesamiento.

4.2 COMPORTAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS NIVELES EQUIVALENTES A LARGO DEL DÍA

Fijando como banda de tolerancia $\pm 1,5$ dB y una “ventana de medición” de 15 minutos de integración, cabe preguntarse cuál será el comportamiento del nivel equivalente obtenido en diferentes momentos del período diurno. Para ello se simularon todas las posibles integraciones del nivel sonoro en 15 minutos continuos, aplicando un desplazamiento del inicio de medición de un minuto para cada integración. Se obtuvo así un gráfico con 706 valores, en cuyo eje “Y” se presentan los valores de $L_{Aeq,15min}$, y en el “X” el horario de inicio de dicha medición. Lo enunciado se observa en la Figura 2, donde se han graficado los 6 puntos analizados. Puede notarse como en determinadas muestras, el L_{Aeq} medido cae fuera de la banda de tolerancia.

Para determinar la probabilidad de que el valor del nivel sonoro equivalente resultante de una sola medición de 15 minutos (ventana) en cualquier momento del día esté dentro de la banda de tolerancia de $\pm 1,5$ dB, se realizó un procesamiento estadístico para obtener los histogramas de los 6 puntos analizados. Dichos histogramas se observan en la Figura 3. El eje “Y” corresponde al número de ocurrencias (número de ventanas) y el eje “X” el nivel sonoro alcanzado las mismas. Todo esto considerando las 12 horas del día. La línea en gris oscuro muestra el valor $L_{Aeq,12h}$ real medido, y la banda presentada en gris claro la tolerancia de $\pm 1,5$ dB. Como puede observarse, las probabilidades de que el valor L_{Aeq} medido en los 15 minutos de la ventana, tenga un valor que esté dentro de la banda de tolerancia son relativamente altas. De hecho, en cualquiera de los 6 puntos medidos, siempre se encuentran por encima del 69%.

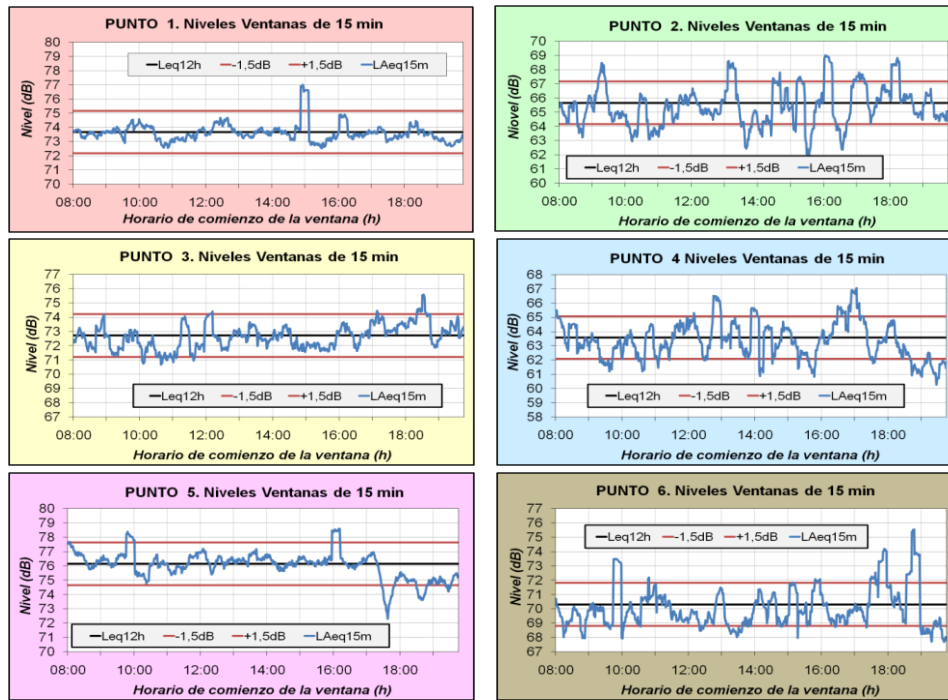


Figura 2. $L_{Aeq,15min}$ a lo largo del día en los seis puntos estudiados

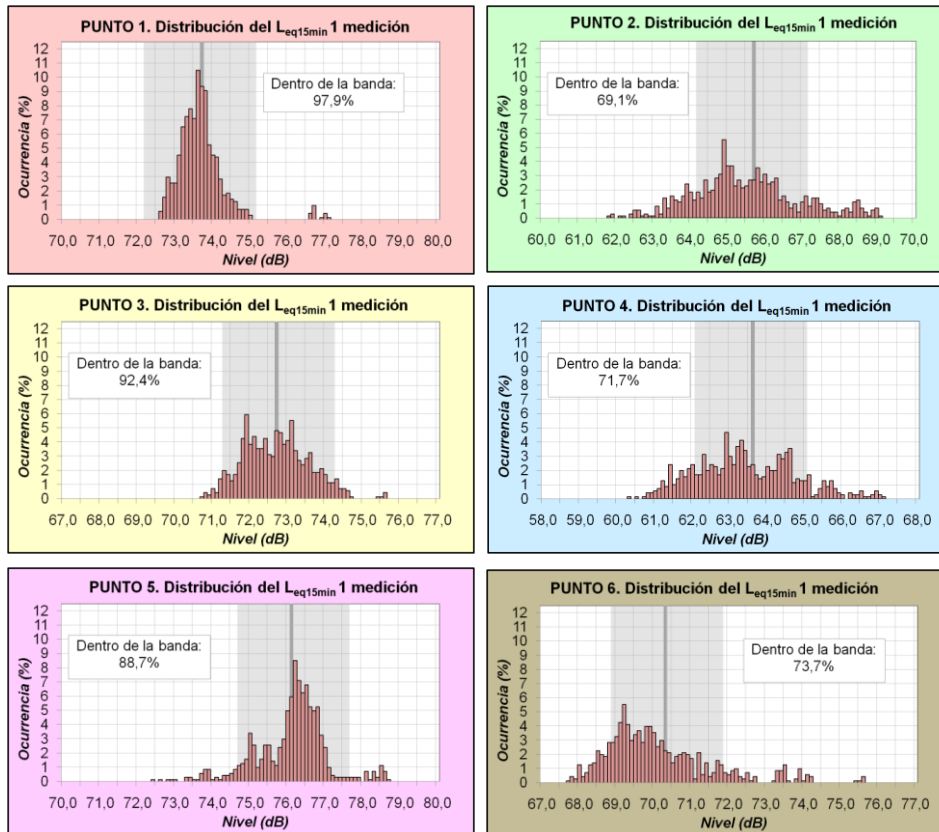


Figura 3. Histogramas de ocurrencia del $L_{Aeq,15min}$ para los seis puntos de medición.

4.2.1 ELIMINACIÓN DE “EVENTOS RUIDOSOS NO CARACTERÍSTICOS”

De la experiencia de campo y el análisis en laboratorio, se ha determinado la existencia de “eventos ruidosos no característicos” (ERNC) que aparecen en algunas de las ventanas de medición. Llamamos ERNC a un evento sonoro generado por una fuente que produce un nivel de inmisión claramente por encima del nivel equivalente medido en la ventana de 15 minutos, y cuya duración es menor al 10% del tiempo de integración de dicha medición. En nuestro caso, un ERNC tiene una duración menor al minuto y medio. Ejemplos pueden ser pasajes de motos o automóviles con el escape en mal estado, frenadas bruscas, bocinazos, etc. Estos eventos producen que el nivel equivalente de la ventana en la cual están incluidos se incremente a un valor que en general excederá la banda de tolerancia fijada, y en consecuencia estas ventanas provocan que la probabilidad de acierto sea menor. En los puntos de menor flujo vehicular los eventos son más perceptibles ya que, siendo el nivel equivalente de la ventana menor, el aporte energético del ERNC a la ventana de medición será mucho más determinante en el valor del nivel sonoro equivalente total de la misma. Dado que dichos eventos disminuyen la probabilidad de acierto, parecería lógico descartar las ventanas en las que existan estos “eventos no característicos”. Para ello, se propone utilizar una condición de descarte de la medición cuando:

$$D_{10,eq} = L_{10} - L_{Aeq,15min} < 1,5 \text{ dB} \quad (1)$$

donde L_{10} corresponde a la ventana en cuestión. Esta condición se basa en el hecho de considerar que si existe un ERNC, éste afectará al $L_{Aeq,15min}$ aumentando su valor, mientras que el valor del L_{10} no se verá afectado (se quiere descartar los eventos con una duración menor al 10% del tiempo de medición). Se verifica que en muchas ocasiones el valor del $L_{Aeq,15min}$ supera al L_{10} , volviéndose el $D_{10,eq}$ negativo. El valor de 1,5dB como límite de $D_{10,eq}$ se ha fijado en forma empírica. Aplicando entonces la condición de “descarte”, se han validado todas las posibles ventanas de medición, eliminando del análisis estadístico aquellas que cumplan la condición dada por la ecuación (1). El resultado de este proceso se puede observar en la Fig. 4.

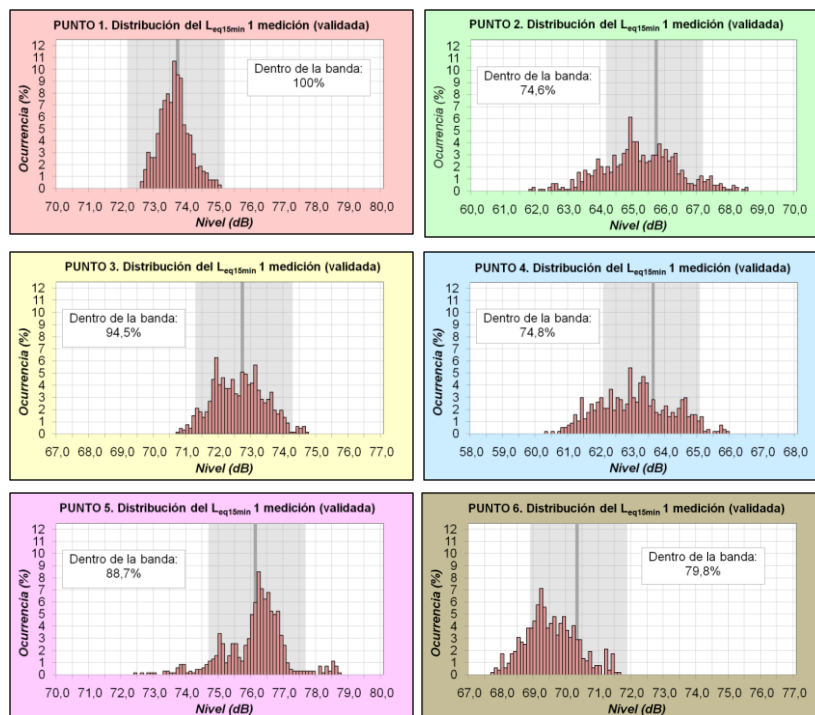


Figura 4. Histogramas de ocurrencia aplicando la condición de descarte de la ecuación (1)

En los gráficos se puede apreciar cómo ha mejorado la probabilidad de acierto, lo cual es más evidente en los puntos con menor densidad de tráfico vehicular. Esto es lógico, en concordancia con lo que se ha mencionado anteriormente respecto a la diferencia de niveles equivalentes entre el ERNC y el $L_{Aeq,15min}$ de la ventana de medición.

4.2.2 PROMEDIACIÓN DE VENTANAS

Con la intención de mejorar la probabilidad de acierto del nivel sonoro continuo equivalente de las doce horas, midiendo solamente el nivel equivalente de una ventana de 15 minutos, se analizó la situación hipotética de medir dos veces en el mismo día en dos intervalos temporales independientes, y luego promediar ambos para obtener un valor único de cada par. Para ello, se obtuvieron todas las combinaciones posibles de “pares” de intervalos independientes de 15 minutos en el periodo diurno, y se calculó un nuevo universo de muestras de niveles sonoros. Promediando los valores de cada par en forma aritmética se obtuvieron 239.000 muestras por punto. La misma cantidad se obtuvo al repetir este procedimiento promediando los valores en forma energética. Asimismo, se realizó la promediación (tanto aritmética como energética) de todas las ventanas “validadas”. Es decir que se eliminaron del universo aquellas que cumplían la condición de la ecuación (1). De esta manera, la cantidad de muestras obtenidas se redujo a cantidades menores a las 239.000, siendo esta reducción variable y dependiente del punto en cuestión.

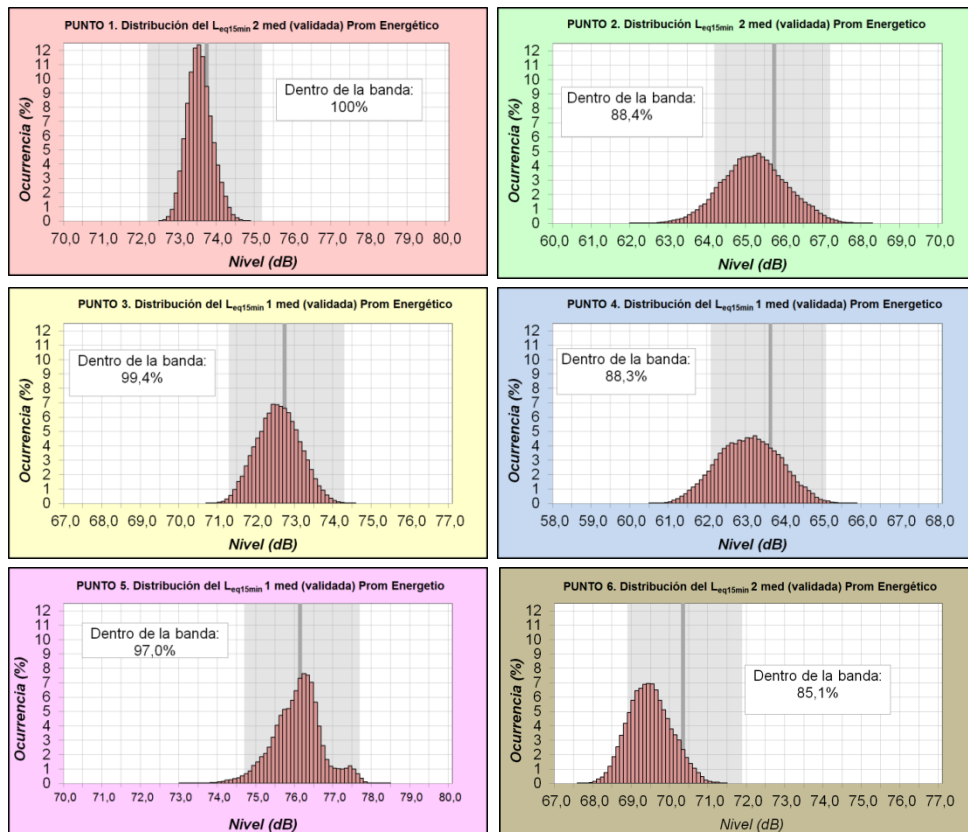


Figura 5. Histogramas de ocurrencia del $L_{Aeq,15min}$ promediando energéticamente pares de ventanas y aplicando previamente la condición de validación

De acuerdo al análisis precedente, se encontró que la probabilidad de acierto se incrementa notablemente cuando se efectúa la promediación de dos ventanas y se observó que de las cuatro opciones de procesamiento posibles, la mejor es promediar en forma energética las ventanas previamente validadas. En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos.

En la Tabla 1 puede observarse un resumen de los resultados obtenidos. En la misma, “Prob 1 medición simple (%)” se refiere al porcentaje de probabilidad de que el $L_{Aeq,12h}$ estimado mediante una sola integración de 15 minutos del nivel sonoro continuo equivalente durante el periodo diurno, se encuentre dentro de la banda de tolerancia definida. “Prob.1 medición validada (%)” se refiere al porcentaje de probabilidad de que el $L_{Aeq,12h}$ estimado mediante una sola medición “validada”, se encuentre dentro de la banda de tolerancia especificada. Y “Prob. 2 mediciones validadas (%)” es la probabilidad de que el promedio energético de dos mediciones independientes, ambas validadas, se encuentre dentro de la banda de tolerancia especificada. En la tabla 2 se resumen las características de los puntos de medición.

Punto N°	1	2	3	4	5	6
Vehiculos / h	2200	290	1450	560	1400	1600
$L_{Aeq,12h}$	73,6	65,7	72,7	65,6	76,2	70,3
Tipo de flujo	continuo	discont	continuo	discont	discont	continuo
Prob 1 medición simple (%)	97,9	69,1	92,4	71,7	88,7	73,7
Prob.1 medición validada (%)	100	74,6	94,5	74,8	88,7	79,8
Prob. 2 mediciones validadas (%)	100	88,4	99,4	88,4	97,0	86,1

Tabla 1. Resumen de resultados obtenidos

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se han presentado los últimos avances tendientes a hallar un método sencillo y económico de evaluar el nivel equivalente de 12 horas continuas (L_{eq12h}) en base a mediciones de 15 minutos de duración, prescindiendo de un complejo y costoso instrumental, que a su vez debería ser numeroso para la realización de un mapa de ruido. Esta metodología está dirigida a municipios o pequeñas instituciones que no cuenten con estaciones de monitoreo constante ni tampoco con gran disponibilidad de recursos humanos y económicos. En los puntos estudiados se comprobó que midiendo una sola ventana de 15 minutos de duración en cualquier momento del período diurno, se puede estimar el $L_{Aeq,12h}$ dentro de una banda de tolerancia de 3 dB, con probabilidades que van desde el 70% hasta el 100%, las cuales dependen de las características del punto de medición. Asimismo, se verifica que con un sencillo método de validación de la medición, pueden incrementarse notoriamente las probabilidades de obtener resultados dentro de la banda de tolerancia. Este método de validación que aquí se realizó en forma empírica, puede perfeccionarse en futuros trabajos. Lo importante de este método es que la validación se realizaría *in-situ*, inmediatamente luego de la medición de los 15 minutos, ya que la condición (1) se basa en parámetros que son obtenidos de la mayoría de los medidores de nivel sonoro. En caso que la condición no se cumpla, se debería repetir la medición en ese punto.

Como mejora adicional, se comprobó que en algunos puntos es necesaria una promediación de al menos dos mediciones cualquiera para obtener probabilidades de acierto mayores al 85%. Se estima que en el comportamiento de dichos puntos, está interviniendo el hecho de que existen variaciones importantes de flujo vehicular, ya sea por horario pico (Puntos 4 y 6, ver Figura 2 en las últimas horas) o por fluctuaciones durante el día (Punto 2, ver Figura 2 a lo largo del día). La Figura 3 muestra esta situación desde el punto de vista estadístico a través de un histograma más disperso.

En el Punto 5 se da un caso particular en donde se apreciaría un efecto de “horario pico” (ver las últimas horas en Figura 2) y un histograma notoriamente disperso. Paradójicamente, debido a que el flujo vehicular durante el resto del día es muy continuo, ese horario pico parecería verse diluido en los resultados. Existen otras particularidades a analizar, como por ejemplo, el corrimiento de la mediana estadística respecto del valor L_{eq12h} , el bajo desempeño de la condición de validación en el punto 5, y otras consideraciones que quedan fuera del alcance de esta publicación, pero que han sido analizadas.

Este trabajo continúa en desarrollo y se están incorporando otras consideraciones a fin de que el método sea más preciso, sin perder la simplicidad y economía. Dentro de estas consideraciones, además de optimizar el método de validación de eventos, se planea considerar la variación diaria del flujo vehicular, para determinar quizá cuántas mediciones deberían promediarse (dos o incluso tres), en qué momentos hacerlas y con qué ponderación, con el objetivo de incrementar la probabilidad de acierto.

REFERENCIAS

- [1] DIRECTIVA 2002/49/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental
- [2] “Investigación y Análisis del Ruido Urbano en La Ciudad de La Plata”, Semana del Sonido en La Plata, 20 y 24 de Agosto de 2013, Teatro Argentino de la ciudad de La Plata y Primer Congreso Internacional Científico y Tecnológico de la Provincia de Buenos Aires, 19 y 20 de setiembre de 2013, Teatro Argentino de la ciudad de La Plata.
- [3] “Time representative window for the measurement of urban noise in La Plata city”, Ariel Velis, Federico Iasi, Nilda Vechiatti, Alejandro Armas, Carlos Posse, Daniel Tomeo. Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la CIC. 22nd International Congress on Acoustics, ICA 2016 Buenos Aires – September, 2016.
- [4] “Ventana temporal representativa para la medición del ruido urbano”, Ariel Velis, Carlos Posse, Federico Iasi, Nilda Vechiatti, Alejandro Armas, Daniel Tomeo. Revista “ACÚSTICA E VIBRAÇÕES” no. 48, Diciembre de 2016, pages 45-52.
- [5] “Stabilisation patterns of hourly urban sound levels” – Carlos Prieto Gajardo, Juan Miguel Barrigón Morillas. Springer International Publishing Switzerland 2014.
- [6] “Intervalo unitario de tiempo de medición para ruido ambiental” – William A. Giraldo A., Alece Elizabeth González Fernández. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol.10, No.18, pp.61-68- ISSN 1692-3324-ener-junio de 2011/148p. Medellín, Colombia.
- [7] “Sampling techniques for the estimation of the annual equivalent noise level under urban traffic conditions” – E. Gaja, A. Gimenez, S. Sancho, A. Reig – Applied Acoustics 64 (2003) 43-53.