

LOS NIVELES SONOROS EN EL ÁMBITO URBANO Y SUS CONSECUENCIAS NEGATIVAS SOBRE LA CALIDAD DE VIDA DE LA POBLACIÓN. RUIDO URBANO EN EL CENTRO DE CASEROS

Esteban Zanardi¹, Leonardo Magliolo², Nicolás Urquiza³, Alejandro Sánchez Caparrós⁴, Santiago Rayes⁵, Agustín Andres Stasi⁶, Gonzalo Botto⁷, Agustín Ylio Arias⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8}Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Provincia de Buenos Aires, Caseros, Argentina.

¹zanardi.esteban@gmail.com, ²lmagliolo@untref.edu.ar, ³nicolasdeurquiza@gmail.com, ⁴alejandro.sancap@gmail.com, ⁵rayes.santiago@gmail.com, ⁶agustin.stasi@gmail.com, ⁷gonzalobotto@gmail.com, ⁸ariasagustin89@gmail.com

Resumen

En este trabajo de investigación se presenta un análisis sobre la contaminación acústica que afecta la zona céntrica de la localidad de Caseros, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Para esto, se realizó un mapa de ruido de la zona utilizando dos métodos diferentes. Por un lado, se midieron los niveles sonoros en determinados puntos de la ciudad utilizando instrumental de medición y se volcaron los resultados a un mapa. Por el otro, se realizó una simulación acústica de los niveles sonoros en la región utilizando mapas cartográficos digitalizados y software específico para cálculo, análisis y predicción del ruido urbano. Para esto último, fue necesario calcular el flujo vehicular por hora con el objetivo de estimar mediante cálculos computacionales el ruido producido por el tráfico automotor.

Como resultado, en gran parte de la zona de estudio se obtuvieron niveles de contaminación acústica por encima de los recomendados por la Organización Mundial de la Salud. Por lo tanto, se advierte que el ruido en esta ciudad podría ser nocivo para la salud de la población afectando de manera directa la calidad de vida de la misma.

Palabras-clave: acústica ambiental, medición de niveles sonoros, simulación de niveles sonoros, mapa de ruido.

Abstract

This research paper presents an analysis about the acoustic pollution that affects the central area of Caseros City, Buenos Aires Province, Argentina. For this purpose, a local noise map was made using two different methods. The first method consisted of sound level measurements at certain points of the city by means of measurement instruments and then the results were introduced on a map. The second method involved an acoustic simulation, which was carried out by using specific calculation software for analysis and prediction of urban noise, with the digital cartographic map corresponding to this area.

Then, it was necessary to calculate the traffic flux per hour to be able to estimate through this computational calculations the noise produced by road traffic. As a result, it was discovered that acoustic pollution levels are above those recommended by the World Health Organization. Therefore, it is possible to conclude that the noise in this city could be harmful to the population's health and could affect directly their life quality.

Keywords: environmental acoustics, sound level measurements, sound level simulation, noise map.

PACS no. 43.50.Rq, 43.50.Sr

1 Introducción

Este trabajo de investigación tiene como objetivo analizar los niveles de contaminación acústica que afectan a la zona céntrica de la localidad de Caseros, partido de Tres de Febrero, ubicado al noroeste de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

El área seleccionada es un punto estratégico en el conurbano bonaerense por el cual transitan miles de personas y vehículos a diario. En esta zona, se encuentran dos de las sedes más importantes de la Universidad Nacional de Tres de Febrero, un área residencial, un importante sector comercial, dos escuelas y un hospital odontológico, entre otros. Por otra parte, por la zona transitan más de diez líneas de colectivos, la línea de ferrocarril “San Martín” con parada en la estación “Caseros” y los trenes de carga de la empresa de logística “ALL”.

Por lo mencionado en el párrafo anterior, se decidió realizar un mapa de ruido de la zona con el objetivo de presentar a las autoridades locales una herramienta para la planificación urbana de la ciudad y, a su vez, brindar a la población un análisis de los niveles sonoros a los que se exponen día a día.

2 Mapas de Ruido

Los mapas de ruido son representaciones cartográficas que se utilizan para calcular y predecir los niveles de presión sonora en un determinado lugar y momento. Existen dos métodos básicos para la elaboración de un mapa de ruido: por mediciones *in situ* y por simulación en computadora. El primer método implica realizar mediciones de nivel de presión sonora continuo equivalente en diferentes puntos durante un tiempo determinado y volcar los resultados a un mapa. En cambio, el segundo requiere una computadora con software específico capaz de calcular, a partir de ciertas variables, el nivel sonoro en un área determinada.

En este trabajo se utilizaron ambos métodos antes mencionados. La simulación se llevó a cabo con el software de diseño, cálculo y predicción de impacto acústico *CadnaA* de la empresa *DataKustik*. Por otra parte, se realizaron mediciones de contaminación acústica *in situ* con el objetivo de realizar cálculos iterativos y, asistidos por computadora, obtener resultados más precisos de los niveles sonoros que afectan al área en cuestión.

3 Antecedentes, situación actual y normativas.

La contaminación acústica, es una de las problemáticas ambientales más comunes, afectando a diario gran parte de la población, pero probablemente sea la que menos importancia recibe por parte de los gobiernos. Desde hace poco tiempo atrás, en las grandes ciudades del mundo, incluyendo la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (C.A.B.A.), se comenzó a tomar medidas para tratar de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos causados por la exposición al ruido ambiental[1].

En el caso del Partido de Tres de Febrero, perteneciente a la Provincia de Buenos Aires, limítrofe con la C.A.B.A, aún no existen ordenanzas municipales o leyes provinciales con el fin de controlar las emisiones de ruido. Por tal motivo, con éste trabajo se pretende brindar a través de un mapa de ruido una imagen de la contaminación acústica en el centro de Caseros tratando de generar concientización sobre los niveles sonoros a los que se expone la población día a día.

La gran mayoría de los ruidos son causados por el tráfico rodado tanto público como privado. El transporte público, usualmente transporte pesado como trenes y colectivos, emite los niveles de ruido más elevados. Sin embargo, existen casos en el que el transporte privado, compuesto de automóviles y motocicletas en su mayoría y por ende considerado liviano, emite niveles más elevados o más molestos que los producidos por el tráfico pesado.

3.1. Situación en Argentina hasta la actualidad

A continuación se describe una breve reseña de los avances que se fueron logrando en los últimos años en materia de ruido urbano y realización de mapas de ruido en el país.

En la Argentina, los mayores avances se han logrado en la Ciudad de Buenos Aires, posiblemente por ser la capital y la ciudad con mayor cantidad de habitantes del país.

Uno de los primeros antecedentes que se conocen data de 1972 cuando en el Laboratorio de Acústica y Electroacústica de la Facultad de Ingeniería de Buenos Aires surge el proyecto de realizar las primeras mediciones de ruido de la ciudad de Buenos Aires. A partir de estas primeras mediciones se generó un mapa de ruido que fue entregado a la jefatura de gobierno de la Ciudad. [1]

Cabe destacar que hasta el momento no existía ninguna legislación sobre control de ruido en el país. Hubo que esperar recién hasta el año 2004 para que la Ciudad de Buenos Aires sancione con fuerza de ley la primera legislación de control de contaminación acústica. La misma es la Ley 1540 (sancionada el 2 de diciembre de 2004 y reglamentada por el Decreto 740/07) que tiene por objetivo “prevenir, controlar y corregir la contaminación acústica que afecta la salud de las personas y el ambiente, protegiendo contra ruidos y vibraciones provenientes de fuentes fijas y móviles”. Para cumplir con lo estipulado por dicha Ley y su Decreto Reglamentario resulta necesario establecer un plan de trabajo que incluye la realización de mapas de ruido de la ciudad. [2]

Con ese objetivo, se inicia la realización en 2005 de la primera etapa del mapa de ruido de la C.A.B.A. Para la confección del mapa se contó con un sistema mixto que incluía la utilización de un software de predicción de ruido urbano y una cierta cantidad de mediciones *in situ* que servían para validar el modelo computarizado. Esta primer etapa sólo cubrió el corredor “ESTE” de la ciudad (aproximadamente unos 20km de la zona centro de la ciudad) y sirvió para identificar las principales fuentes de ruido (se identificó al transporte como la principal fuente de ruido) y cuáles eran las esquinas más ruidosas de la zona relevada. [3]

En 2007 con la sanción de la Ley de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires Nro. 2628 se crea la Agencia de Protección Ambiental (APrA) que actualmente forma parte del *Ministerio de Medio Ambiente y Espacio Público* y se la considera Autoridad de Aplicación de la Ley 1540. [4] Actualmente la APrA se encuentra trabajando en la finalización del mapa de ruido completo de la Ciudad de Buenos Aires.

Para la realización de esta última etapa del mapa la ciudad cuenta con 20 Terminales de Monitoreo Inteligente (TMI) permanentes con medidores sonoros que relevan información constantemente y la envían a una central de control para su proceso. Entonces, cualquier ciudadano puede actualmente acceder, vía Internet, a los datos que recoge diariamente cada una de estas terminales para chequear el promedio energético en dB(A) por hora que se registra en ese punto. [5]

A partir de la finalización del mapa de ruido de la ciudad se prevé recolectar valiosa información que sirva para el futuro desarrollo y rediseño urbano mediante la identificación de zonas que requieren mitigación de ruidos con el fin de mejorar la calidad de la vida de la población.

4 Marco teórico y normativo

A continuación se detallan algunos conceptos teóricos necesarios para comprender el desarrollo de este trabajo y las normas internacionales que se siguen a lo largo de la investigación.

4.1. Nivel de ruido equivalente

El nivel sonoro varía en cada instante de tiempo. Por lo tanto, es posible calcular la energía total proporcionada por los niveles sonoros instantáneos durante un tiempo determinado de medición. Para esto se calcula el nivel sonoro continuo que aporta la misma dosis que el sonido variable durante un intervalo de tiempo dado. Sin embargo, un sonómetro como el que se utilizó en éste trabajo, calcula el nivel equivalente L_{eq} a partir de mediciones cada un instante de tiempo determinado ($Slow=1s$, $Fast=0,125s$). Por lo tanto, se presenta en la siguiente ecuación el nivel equivalente promedio ponderado A para una cantidad de muestras n .

$$L_{eq}(A) = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i(A)/10} \right] \quad (1)$$

4.2. Nivel de ruido diario equivalente

El nivel de ruido diario equivalente se utiliza para medir dosis de exposición al ruido normalizado en 8 horas (duración de la jornada laboral) y se calcula a partir de la ecuación [1]:

$$L_{eq,d}(A) = L_{eq}(A) + 10 \cdot \log \left[\frac{T}{8} \right] \quad (2)$$

Siendo T el tiempo de exposición al ruido.

Por lo tanto, si el tiempo de exposición al ruido se reduce a la mitad ($T=4$) el nivel diario se reduce en 3dB. En cambio, si el nivel de exposición se duplica ($T=16$) el nivel de ruido diario equivalente aumenta 3dB. Entonces, para extrapolar cualquier dosis de ruido en un tiempo determinado se deben sumar 3dB cada duplicación del tiempo de exposición o restarse si se divide a la mitad el tiempo de exposición. Por ejemplo, si una normativa permite la exposición a un nivel equivalente máximo de 70dB(A) en 24 horas, para 6 horas de exposición se permitirán 76dB(A).

4.3. Indicadores de ruido

- **Nivel Equivalente Día-Tarde-Noche:**

Este indicador pretende dar una idea del nivel de ruido durante las 24 horas del día considerando el nivel equivalente del día, la tarde y el de la noche. Durante los horarios de tarde y noche se considera que la población se vuelve más sensible al ruido y, si bien el ruido suele disminuir durante dichos horarios, su importancia relativa aumenta. Por tal motivo se suele penalizar el ruido por la tarde con 5dB y los ruidos nocturnos con 10dB.

Por defecto, los períodos que dispone la Directiva del Parlamento Europeo [6] son los siguientes: día: de 7:00 a 19:00; tarde: de 19:00 a 23:00; noche: de 23:00 a 7:00. Sin embargo, en este trabajo se decidió adaptar el período horario, como el protocolo de medición para el trazado de mapas de ruidos lo permite [2], a: día: de 07:00 a 14:00 y de 16:00 a 21:00, tarde: de 14:00 a 16:00 y de 21:00 a 23:00; noche: de 23:00 a 07:00, ya que se considera que los usos y costumbres de la región se adaptan mejor a este modelo. El nivel L_{den} se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$L_{den} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right] \quad (3)$$

Siendo L_d : el nivel medio equivalente para el período definido como *día*; L_e : el nivel medio equivalente para el período *tarde*; L_n : el nivel medio equivalente para el período *noche*.

- **Percentiles L_{10} y L_{90} :**

Los percentiles indican el nivel de ruido que es superado en un determinado porcentaje del tiempo de medición. Cuanto más pequeño sea el porcentaje del tiempo, más elevado será el nivel sonoro a superar. Por ejemplo, el percentil L_{90} define al nivel sonoro que ha sido superado durante el 90% del tiempo de medición. Por lo tanto, suele utilizarse para la medición de ruido de fondo. En cambio, el percentil L_{10} se refiere al nivel sonoro superado en el 10% del tiempo de medición siendo empleado para la medición de los eventos de mayor sonoridad.

5 Metodología de medición *in situ*

En primer lugar se seleccionó un área de trabajo que incluye 17 manzanas de la zona céntrica de la localidad de Caseros.

5.1. Instrumentos de medición

Los instrumentos utilizados a para la medición *in situ* se detallan a continuación:

- Sonómetro clase 1 SVAN 959 de la empresa SVANTEK, con su set básico de accesorios
- Calibrador clase 1 SVAN SV30A
- Cable de extensión SC 26 de 10m para el sonómetro SVAN 959
- Estación meteorológica VELLEMAN WS1080
- Trípode de 4 metros de altura
- Trípode de 1,5 metros de altura
- Videocámara y cámara fotográfica

5.2. Selección de la grilla de medición

A la hora de establecer la grilla de puntos a medir sobre la zona delimitada se analizaron las recomendaciones del “Protocolo de mediciones para trazado de mapas de ruido normalizado” [2]. De esta manera, se tomó una grilla rectangular capaz de contener toda el área de trabajo delimitada.

Se decidió tomar 8 puntos en la grilla (referidos a 8 esquinas distintas en el mapa) que resultaban de alguna manera representativos tanto por su distribución dentro la misma, como por su ubicación geográfica (intersección de avenidas, zona escolar, frente a la estación de tren, zona de comercios, etc.). Tales puntos pueden observarse en la imagen a continuación.



Figura 1 - Grilla de trabajo con los puntos de medición elegidos.

En relación a la colocación de los equipos en cada punto de la grilla, se consultó la Ley para el Control de la Contaminación Acústica de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y su Decreto Reglamentario 740/07 [1]. Éste último, se remite a la norma ISO 1996 a la hora de realizar mediciones en el ámbito urbano. Siguiendo las recomendaciones de esta norma se decidió medir a 4 metros de altura con respecto al suelo. Además, se respetó siempre una distancia mínima de 2 metros con respecto a las fachadas para evitar efectos por reflexiones.[7]

Por otra parte, se eligió la franja horaria comprendida entre el intervalo de 15.00 a 21.00 en días laborables. Por cada día de medición se trabajó en dos puntos distintos de la grilla **A** y **B** (1 y 2, 3 y 4, 5 y 6, 7 y 8), midiendo en intervalos de 15 minutos para representar el nivel equivalente en cada hora, y se realizaron rotaciones del punto **A** al punto **B** hasta cubrir la franja horaria mencionada previamente.

5.3. Medición del nivel sonoro continuo equivalente

Para representar una franja horaria de una hora, se decidió realizar mediciones de nivel equivalente en un período de integración de 15 minutos por cada hora. Tal período temporal, se considera representativo del nivel equivalente durante 60 minutos con una desviación de 0.5 dB [2]. La idea de obtener valores equivalentes por hora es el cálculo posterior del L_{den} para lo cual se necesita el L_{eq} en cada hora del día. Es decir, a modo de ejemplo, entre las 15hs y las 16hs se realizó una medición de 15 minutos para obtener el nivel equivalente representativo correspondiente a las 15hs.

5.3.1 Configuración del sonómetro SVANTEK 959

Este sonómetro integrador posee tres perfiles donde se pueden seleccionar diferentes ponderaciones y tipos de medición. El primer perfil se configuró para registrar los resultados ponderados “A” y con un tiempo de integración “Slow”. El resto de los perfiles se configuraron en ponderación “C” y “Z” con el mismo tiempo de integración.

Además, se utilizó un cable *BNC* de bajas pérdidas *SVANTEK* para conectar el micrófono colocado en un trípode a 4 metros de altura al sonómetro montado en un trípode a 1,5 metros de altura para facilitar el manejo por el operario.

5.4. Medición de variables atmosféricas

Se utilizó una estación meteorológica *VELLEMAN WS1080* para controlar las variables ambientales presión, temperatura, humedad y velocidad del viento en el punto de medición

Esta estación meteorológica cuenta con una pantalla electrónica inalámbrica con tecnología *Bluetooth* que permite que el operario observe los datos sin interferir en el funcionamiento de la misma.

El objetivo de la medición de variables atmosféricas es controlar que las condiciones climáticas sean aceptables para realizar las mediciones y se mantengan estables mientras se llevan a cabo las mismas.

5.5. Medición del aforo vehicular

Por otra parte, se realizaron mediciones del aforo vehicular, esto es, el flujo vehicular por hora haciendo distinción entre vehículos *pesados*, *livianos* y *motocicletas*. El objetivo de tal medición es introducir los resultados del aforo de cada calle al software *CadnaA* para calcular, de manera aproximada, los niveles sonoros producidos por el tráfico rodado.

Tal medición es una aproximación de carácter estadístico y su resultado depende de una gran cantidad de variables. Es decir, si se mide el flujo vehicular a determinada hora un día de la semana, difícilmente los resultados coincidan con los del mismo día de la semana siguiente a la misma hora. Por lo tanto, por la imposibilidad de contar con los tiempos y medios necesarios, en primera instancia se decidió medir en cada calle a la misma hora durante 15 minutos y se extrapoló el resultado a una hora para obtener un valor de referencia del flujo vehicular por hora. Un análisis posterior requerirá que se realicen nuevas mediciones, siendo estas de una hora completa, tomando una mayor cantidad de muestras variando los horarios para obtener un resultado estadístico más acertado o con la utilización de medios electrónicos a través de softwares que faciliten la obtención de datos estadísticamente relevantes.

Como vehículos *pesados* se consideró a los colectivos, camiones y camionetas tipo *van*. Camionetas tipo pick up y automóviles de inferior peso se caracterizaron como *livianos*. Las motocicletas son vehículos *livianos* que, a veces, llegan a producir niveles de ruido tanto o más elevados que los generados por vehículos *pesados*. Por lo tanto, se decidió considerar a las motocicletas en una clasificación aparte. Sin embargo, la norma utilizada en el programa de simulación, NMPB-Routes 96, sólo hace distinción entre vehículos *livianos* y *pesados*. [8]

Además, junto con los datos obtenidos de aforo, el software *CadnaA* requiere que se ingrese la velocidad promedio a la cual transitan los vehículos. Para esto se utilizó la velocidad máxima permitida para cada calle, es decir, 40km/h en calles y 60km/h en avenidas.

6 Metodología de trazado de mapa de ruido

Previo a realizar cualquier trabajo en computadora se designó la zona en cuestión y se realizó un trabajo de campo donde se relevaron datos, distancias y altura de edificaciones, para el trazado de la planimetría.

6.1. Planimetría en software

Se utilizó el software de diseño arquitectónico *Autocad* para diagramar, con la ayuda de cartografía digital, un mapa bidimensional del área.

En primera instancia, se utilizó un plano digital obtenido en *google maps* como referencia para el trazado del mapa en 2D y además se utilizó cartografía municipal para trazar la división de terrenos internos en cada manzana.

Por otra parte, se realizó un relevamiento fotográfico de la zona para tomar cuenta de los diferentes espacios, las distintas fachadas de los edificios y poder decidir posteriormente cuáles serían los puntos de emplazamiento del equipamiento de medición. A su vez, se realizó un relevamiento de las alturas de las edificaciones para luego generar un esquema tridimensional (en los casos en que no se poseía información al respecto, se hizo una aproximación) y las distancias entre veredas.

6.2. Simulación en software

En primera instancia, se importó la planimetría bidimensional realizada en *Autocad* y desde *CadnaA* se generó un volumen en base a la altura de las edificaciones para obtener un mapa en tres dimensiones (*ver figura 2*).

Luego, se cargó al software los datos medidos de aforo y se procedió a realizar cálculos de predicción de ruido urbano designando una malla de cálculo de 1m por 1m, para obtener buena precisión, y a una altura

de 4 metros del suelo con el fin de comparar la simulación con las mediciones de nivel sonoro *in situ*. Sólo resulta posible analizar y comparar el nivel equivalente durante el día L_d ya que las muestras de aforo fueron tomadas sólo dentro de ese período. Lamentablemente, no se lograron realizar más mediciones de aforo debido al tiempo excesivo que se necesita para efectuar dicha tarea sin el instrumental adecuado.

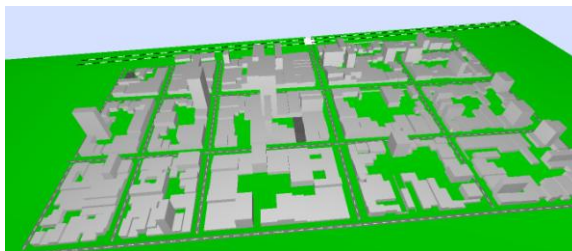


Figura 2 - Mapa tridimensional de la zona céntrica de la ciudad de Caseros

6.3. Consideraciones en la simulación en software

Al momento de realizar las simulaciones en software se debieron tomar una serie de consideraciones para el trazado de calles, edificios y ferrocarriles.

6.3.1 Trazado de calles y avenidas

El material utilizado en todas las calles fue *cemento de hormigón*.

El flujo automotor correspondiente al caso de las calles de Caseros corresponde a un *flujo continuo en pulsos* el cual corresponde a calles de centros urbanos. Este flujo es inestable en el tiempo, ya que se producen variaciones bruscas, hay varios semáforos en la zona analizada (en su mayoría sobre la Av. San Martín, incluidos en el cálculo) y existe un comportamiento variado de los conductores. Asimismo, también es inestable en el espacio, pueden producirse concentraciones de autos en cualquier momento.

La *velocidad* promedio de los vehículos en las calles y avenidas de esta región es de 40km/hora.

6.3.2 Trazado de edificios

Las pérdidas por reflexión dan cuenta de cuánto se pierde en dB, tiene que ver con el tipo de reflexión dependiendo del tipo de material que están contruidos los edificios. Fachada silenciosa es 1dB y fachada de construcción 2dB para los edificios en construcción. Todos los edificios están marcados como edificios residenciales.

6.3.3 Líneas ferroviarias

Se eligió la categoría correspondiente a *traviesas de madera en balasto* asignando a su vez trenes diesel con freno a disco. La cantidad de trenes de pasajeros que circulan por día es quince y dos de carga (uno durante la tarde y otro durante la noche).

7 Resultados

7.1. Resultados de las mediciones *in situ*

A continuación se presenta un mapa de la zona céntrica de la Ciudad de Caseros con los niveles equivalentes promedio durante el período diurno L_d en dB(A) (dentro de los círculos) y los niveles de pico máximo L_{peak} medidos en cada punto de medición (*figura 3*). Siendo los niveles más elevados, tanto de pico como de L_d , los medidos en la esquina de Av. San Martín y Urquiza ($L_d=78,2$ dB(A) y $L_{peak}=119$ dB(A))

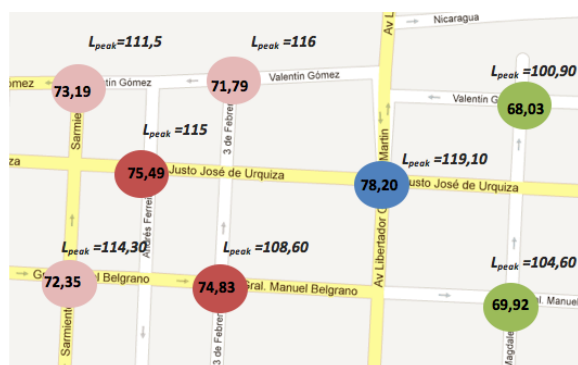


Figura 3 - Mapa de ruido con las mediciones “in situ” con los niveles L_d y L_{peak} realizadas en la zona céntrica de Caseros.

7.2. Mapa de ruido simulado por computadora

Se logró calcular en el software CadnaA los niveles de ruido producto del ruido de tránsito automotor que afectan el área de trabajo. Sin embargo, no se logró medir de manera precisa el ruido producido por el tren y, por ende, se aproximó su influencia con modelos predeterminados que incluye la norma utilizada. [9]

A continuación se presenta una imagen del mapa de ruido simulado por computadora terminado.

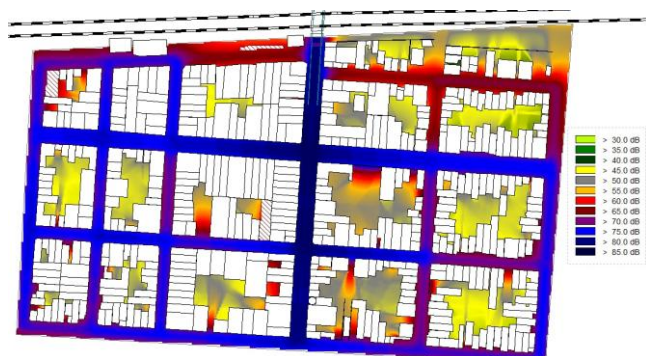


Figura 4 - Mapa de ruido simulado por computadora de la zona céntrica de la localidad de Caseros.

7.3. Comparación de valores medidos con los calculados en software

Puede observarse comparando los resultados de las mediciones de nivel sonoro L_d in situ con los resultados de los cálculos obtenidos en el software CadnaA que los valores difieren en una proporción notable (hasta más de 5dB de diferencia en algún caso – ver tabla 1). Más allá de esta desviación, se puede observar, comparando los mapas realizados (fig. 3 y fig. 4), que las zonas donde CadnaA calcula niveles más elevados se correlacionan de la misma manera con las zonas de niveles sonoros medidos.

Tabla 1 - Comparación entre mediciones del L_d según metodología de medición “in situ” y cálculos en software CadnaA. Siendo, Δ el valor de la diferencia entre ambos métodos.

Punto de medición	Simulación en CadnaA	Medición “in situ”	Δ
1	73.09	71.79	1.3
2	82.02	78.20	3.82
3	77.15	75.49	1.66
4	75.78	74.83	0.95

5	66.70	68.03	- 1.33
6	75.44	69.92	5.52
7	72.29	73.19	- 0.9
8	77.05	72.35	4.7

Dicho esto, cabe destacar que sería recomendable ampliar la cantidad de muestras de aforo vehicular de tal forma de hacer una aproximación más correcta de la media y, entonces, comprobar si el software se acerca en mejor manera a los valores obtenidos en la medición con sonómetros en la de la ciudad de Caseros o no. Por otra parte, la norma utilizada para hacer la simulación de ruido producido por tráfico rodado, NMPB-Routes 96 [8], podría no adaptarse para calcular el ruido producido por los vehículos locales.

No es menor, resaltar también que resulta difícil realizar una comparación certera sobre las mediciones *in situ* con las simuladas por software cuando éste último no considera el ruido cotidiano de la región producido por alarmas, sirenas, bocinas, autoestéreos, obras en construcción y bullicio de los transeúntes, entre otros.

7.4. Análisis de la situación

La Organización Mundial de la Salud (OMS) no recomienda la exposición de una persona a una dosis de ruido superior a 70dB(A) durante un período de 24 horas en ambientes industriales, centros comerciales y áreas de tráfico tanto internas como externas. Además, se recomienda 110dB(A) como nivel de pico máximo permitido [10]. Lamentablemente, en éste trabajo no se logró realizar mediciones durante cada hora del día para poder calcular el nivel equivalente ponderado “A” durante 24 horas. Pero, recordando lo explicado en la sección 4.2, el valor máximo de exposición para 6 horas sería de 76 dB(A).

Por lo tanto, los niveles recomendados por la OMS son sobrepasados en la esquina de Av. San Martín y Urquiza si se considera el nivel equivalente promedio durante 6 horas en las mediciones *in situ* (77,56 dB(A)). Por el lado de los resultados calculados en la simulación por software, se estarían sobrepasando los niveles recomendados por la OMS en tres esquinas (puntos 2, 3 y 8). De cualquier manera, todos estos son valores aproximados ya que para poder tener valores más justos, debería incrementarse la cantidad de mediciones *in situ* así como refinarse el cálculo mediante más mediciones de aforo y una mejor modelización del tren mediante niveles propios relevados.

Por otra parte, en seis de los ocho puntos de medición se sobrepasan los 110dB(A) de pico recomendados por la OMS llegando a valores de hasta 119,1 dB(A) en la esquina de Av. San Martín y Urquiza.

8 Conclusiones

- Los niveles sonoros medidos en el centro de Caseros se encuentran por encima de los niveles recomendados por la OMS.
- La normativa francesa que utiliza el software *CadnaA* podría no adaptarse para calcular el ruido de los vehículos locales.
- Resulta difícil comparar las mediciones *in situ* con las simuladas por software cuando éste último no considera el ruido cotidiano de la región producido por alarmas, sirenas, bocinas, autoestéreos y bullicio de los transeúntes.

9 Agradecimientos

Agradecemos el apoyo brindado en este trabajo por la Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF), tanto por permitirnos utilizar su instrumental como por brindar incentivos a las investigaciones en el área. A su vez agradecemos también fuertemente a los docentes involucrados por sus comentarios y sugerencias.

Pueden consultarse los avances de la investigación en <http://ruidourbanocaseros.com.ar/>.

10 Referencias

- [1] Ley N° 1.540/04, “Control de la Contaminación Acústica”, Reglamentación Decreto 740/07. Legislatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina.
- [2] Bonello O. Gavinowich D. Ruffa F. “*Protocolo de mediciones para el trazado de mapas de ruido*”. Laboratorio de acústica y electroacústica, Facultad de ingeniería, UBA. Buenos Aires, Argentina. Febrero 2002.
- [3] Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. “Calidad Ambiental – Red de Monitoreo” en http://www.buenosaires.gov.ar/areas/med_ambiente/apra/calidad_amb/red_monitoreo/texto.php?menu_id=32434#yy, 12 de Abril de 2012.
- [4] Ley N°268/07, “Creación la Agencia de Protección Ambiental de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires”. Legislatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina.
- [5] Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. “Calidad Ambiental – Mapa de la Red” en http://www.buenosaires.gov.ar/areas/med_ambiente/apra/calidad_amb/apra_mapa/mapa_ruido_usig.php, 12 de Abril de 2012.
- [6] Comisión de Comunidades Europeas, *Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental*, Bruselas, 26 de junio de 2000.
- [7] ISO 1996-2:2007 “*Description, measurement and assessment of environmental noise*”.
- [8] NMPB-Routes 96, “*Arrete du 5 Mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routiéres*, *Journal officiel*, article 6”, Francia, 10 Mayo 1995.
- [9] SRM II -RMVR96 “*Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawai*”. Holanda, 27 de Noviembre de 2001.
- [10] OMS “*Guidelines for community noise*” Suiza, 1999.
- [11] ISO 1999: 1990, “*Acoustics: Determination of Occupational Noise Exposure and Estimation of Noise-Induced hearing impairment*”.