
XIII Congreso Argentino de Acústica
VII Jornadas de Acústica, Electroacústica y Áreas Vinculadas
Buenos Aires, 29 y 30 de octubre de 2015

AdAA2015-A015

**Estudio de la contaminación sonora por ruido de tránsito
en zona residencial de la ciudad de Córdoba**

Horacio Contrera^(a),
Jorge Perez Villalobo^(a,b),
Raúl Bodoira^(a),
Elías Cáceres^(a).

(a) Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), Unidad Asociada del CONICET, Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Córdoba. Maestro M. Lopez esq. Cruz Roja Argentina, Ciudad Universitaria, (5016ZAA) Córdoba, Argentina. E-mail: jorgeperezvillalobo@gmail.com

(b) Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Córdoba.

Abstract

In this paper the preliminary results of a research conducted on the levels of acoustic pollution in a predominantly residential area of Córdoba, Argentina will be presented. With the sound levels measured in the zone, global values map and spectral maps have been developed.

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de una investigación sobre los niveles de polución acústica de un sector predominantemente residencial de la ciudad de Córdoba, Argentina. A partir de los niveles sonoros relevados en la zona, se desarrollaron mapas de ruido tanto de valores globales como en bandas de octavas.

1 Introducción

El ruido es uno de los contaminantes más comunes en el medio ambiente y respecto al cual ninguna ciudad se ve exenta.

Este se puede incluir como uno de los contaminantes que más afectan a la salud de la población, disminuyendo la calidad de vida de sus habitantes (Verzini et. al., 2011).

Debemos destacar que son muy pocas aquellas ciudades, al menos en lo que respecta a Latinoamérica, que cuentan con una legislación referida al tema que sea pertinente o en algunos casos la existente resulta inadecuada u obsoleta. En todos los casos es comprobable el hecho de que los individuos se ven expuestos a niveles crecientes de ruido (Suarez et. al., 2011).

Para poder llevar a cabo un plan de acción tendiente a mitigar los efectos del ruido sobre la salud humana, se hace necesario una fuente de información referida a ello, por lo que los mapas de ruido resultan de gran utilidad, esto se ve puntualizado en la Directiva Europea 2002/49/CE (2002) la cual exige a las autoridades desarrollar mapas estratégicos de ruido en comunidades con más de 100 000 habitantes.

Dado las vastas dimensiones de los centros urbanizados y la posibilidad de llevar a cabo mediciones o relevamientos de la polución acústica solo sobre un reducido número de lugares, la obtención de un mapa de ruido extendido sobre la totalidad de la zona de interés es posible mediante el empleo de software de predicción y simulación acústica.

Resulta necesario entonces la modelización de la zona de estudio y por tanto identificar las principales fuentes de ruido del lugar. El resto de las fuentes que se asumen despreciables, no se incorporan en la simulación, obteniendo un modelo simplificado del área bajo estudio.

En los centros urbanos, exceptuando aquellos casos particulares en donde existen fuentes de ruido especiales que se destacan del resto, el mayor contribuyente a la contaminación acústica resulta ser el debido al tráfico vehicular, por sus altos niveles de ruido emitidos.

Por lo tanto, se puede observar que la distribución básica del mapa de ruido sigue los lineamientos respecto del trazado urbanístico, es decir, la distribución de las calles y el comportamiento en general del tráfico vehicular cotidiano.

Los vehículos pueden ser considerados como fuentes puntuales de ruido, sin embargo, si se tiene en cuenta el flujo más o menos sostenido sobre una calle durante una cierta banda horaria, esto permite modelar el tráfico vehicular como si se tratase de una fuente sonora lineal, cuya emisión, indudablemente, se verá alterada por la presencia de la infraestructura edilicia del lugar.

La elaboración de mapas de ruido se efectúa en todos los casos en virtud de niveles globales de presión sonora continua equivalente (L_{eq}) con ponderación A aplicada, dado lo extendido de este parámetro en su uso como descriptor del nivel de molestia.

Esto suele ser ampliamente discutido, dado que la curva de ponderación A y el uso de la misma suponen una importante atenuación en las bajas frecuencias. Autores como Jakovljevic et. al. (2009) y Leventhall (2004) entre otros, advierten que el ruido de baja frecuencia generado por el tráfico rodado es un gran contribuyente a la molestia subjetiva de la población, por lo que si se aplicara dicha ponderación en los mapas de ruido, podrían no ser representativos de los efectos reales de la polución. Por otro lado Torija y Flindell (2014, 2015) como así también Kim et al. (2010), afirman que las componentes de media y alta frecuencia son de mayor contribución a la molestia, por lo cual aplicar la curva de ponderación A sería adecuado.

Dado la falta de consenso entre autores respecto al tema, una alternativa viable puede ser la adición de mapas de ruido confeccionados en bandas de octavas o tercios de octavas sin ponderación, pudiendo analizar la contribución de forma directa de cada banda espectral al ruido total presente.

Otra ventaja que ofrece la confección de los mapas de ruido en bandas espectrales, expuesta por Accolti et. al. (2011), es que conociendo los datos constructivos relativos a las fachadas de las edificaciones, se puede estimar fehacientemente los niveles interiores de ruido en las viviendas, convirtiendo al mapa en una importante herramienta de diseño a la hora de aislar acústicamente los inmuebles.

2 Metodología

2.1 Zona de estudio

Se escogió una zona residencial de la Ciudad de Córdoba, específicamente el Barrio Juniors, para realizar las mediciones (ver figura 1). La elección de la misma tuvo la intención de caracterizar sectores con distintas cualidades acústicas de la ciudad ya que el área céntrica (con predominio de actividad comercial) se estudió en un trabajo anterior (Verzini et. al. 2011).

La zona está delimitada por las siguientes calles: Av. Intendente Mestre, Rosario de Santa Fe y Larrea. Presenta una población de 6521 habitantes según el Censo Nacional (2010). Posee edificaciones en su mayoría tradicionales, que no superan las 2 plantas, exceptuando la calle Rosario de Santa Fe donde la altura de edificación media es de 4 plantas; además se encuentran en el sur del barrio las instalaciones deportivas del Club Atlético General Paz Juniors.

Las calzadas son de hormigón y presentan dos tipos de flujo vehicular en la zona escogida, tomando como guía la clasificación propuesta en el Mapa de Ruido Estratégico del Municipio de Córdoba, España (2007). Tipo 1 (flujo vehicular continuo fluido): es el presentado en calles Av. Intendente Mestre, Rosario de Santa Fe, Larrea, Bahía Blanca y Alejandro Carbo, las cuales se encuentran en la periferia del sector, donde la circulación vehicular es continua y con un alto flujo compuesto de vehículos livianos (automóviles y motocicletas) y vehículos pesados (camiones y colectivos), con velocidades medias entre 40 y 60 km/h. Estas arterias cuentan con escasos semáforos. Tipo 2 (flujo vehicular continuo en pulsos): presenta un flujo vehicular poco regular con velocidades medias entre 20 y 40 km/h. Se presenta en el interior de la zona, donde el tránsito está compuesto mayormente por vehículos livianos propios de los habitantes del lugar y también es atravesado por dos líneas del transporte público de pasajeros. Además este sector no presenta esquinas semaforizadas.

2.2 Medición

Para la caracterización de la distribución de niveles de presión sonora se tomaron en total una cantidad de 56 puntos en el sector. Se cuidó de que cada punto de medición no estuviera en las proximidades de semáforos, paradas de colectivos y se situara en la zona media de cada cuadra.

Los puntos de medición fueron distribuidos de manera de relevar un punto cada tres cuadras o menos sobre la misma arteria (ver figura 2).

Estos puntos no cubren la totalidad de cuadras del sector, por lo que utilizando los datos medidos, se realizó una interpolación en cada calle ya que el flujo no presenta variaciones a lo largo de las mismas dentro de la zona. De esta manera se obtuvieron los niveles sonoros global y por octavas en cada cuadra.

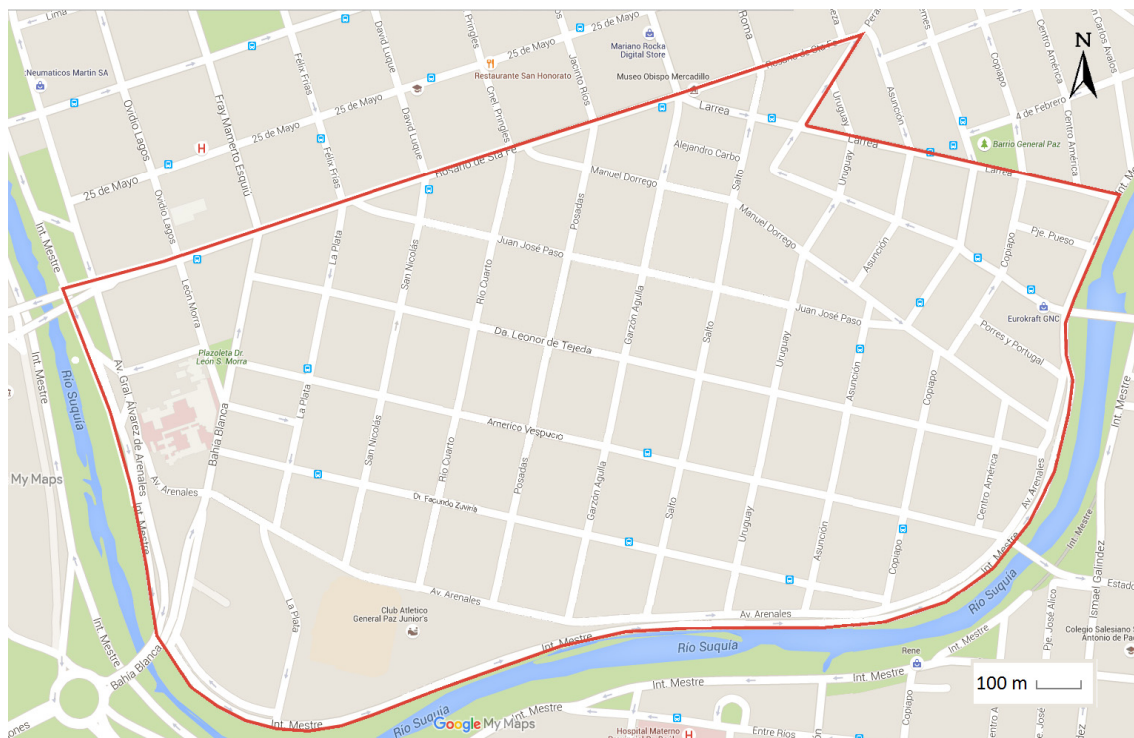


Figura 1. Zona de estudio Barrio Juniors, Ciudad de Córdoba, Argentina.



Figura 2. Distribución de puntos de medición.

Las mediciones se efectuaron utilizando un medidor de nivel sonoro clase 1 (Brüel & Kjaer 2270) trazable con los patrones de la Unión Europea a través del Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania. El cual se configuró en modo de registro grabando datos de niveles sonoros globales, como así también por tercio de octava y parámetros estadísticos en un periodo de tiempo preseleccionado.

El tiempo de medición en cada punto fue de 15 minutos y se realizaron en un horario entre las 10:00 y las 18:00 hs., horario diurno de acuerdo a la Norma IRAM 4062:2001, con condiciones climáticas favorables y estables.

Se dispuso el medidor de nivel sonoro a una distancia de aproximadamente 0,2 m del cordón de la vereda y a una altura de 1,50 m con el medidor de nivel sonoro orientado hacia el centro de la calzada y con protección anti viento.

De manera conjunta a las mediciones se realizó el conteo de vehículos que circulaban frente al medidor de nivel sonoro, clasificando en motos, vehículos livianos y vehículos pesados. Cabe destacar que dentro de las categorías de motos y vehículos livianos se diferenciaron a su vez entre con sistema de escape original o modificado.

2.3 Modelo computacional

Para realizar el modelo computacional se aplicó un software de modelación reconocido, como es el CadnaA.

2.3.1 Configuración general

Para iniciar el trabajo en dicho software fue importante la elección del modelo de tráfico rodado a usar, para esto se tuvo en cuenta estudios realizados en ciudades latinoamericanas (Suárez et. al., 2014; Murillo et. al., 2015), en los cuales se concluyó que el modelo con mejores resultados fue el conforme a la norma alemana RLS-90.

Además este modelo permitió un mejor ajuste de la potencia de la fuente sonora (carretera) a partir de las mediciones efectuadas in situ.

Otra normativa usada por el software para realizar el cálculo, es la ISO 9613-2:1996 que considera aspectos referidos a la propagación de las ondas sonoras.

En vistas de una optimización de los tiempos de cálculo de la simulación se realizaron las configuraciones pertinentes a los efectos de acelerar los mismos, resultando un modelo de proyección simplificado. Esto consistió en reducir el radio máximo de búsqueda de fuentes emisoras en torno a cada uno de los receptores considerados, así como la restricción del número de reflexiones a un cierto orden.

Como es de suponer un mayor grado de simplificación en el modelo a simular, implica mayor incertidumbre en los resultados obtenidos.

En virtud de las disposiciones evaluadas, el software de predicción acústico fue configurado con las especificaciones de la tabla 1.

Para el trazado y predicción de los mapas se consideró una grilla de 10x10 m, como recomienda el Grupo de Trabajo en la Evaluación de Exposición al Ruido de la Agencia Medioambiental Europea (WG-AEN, 2007) y la altura correspondiente a los mismos se fijó en 1,5 m sobre el nivel del suelo.

En cuanto a la visualización de los niveles de presión sonora del mapa, se optó por una representación por áreas de ruido en intervalos de 5 dB, según recomendaciones de la Directiva Europea 2002/49/CE (2002). Los colores empleados para representar los diferentes niveles sonoros corresponden a los sugeridos por la versión 1987 de la ISO 1996-2. Esta normativa establecía criterios para la realización de mediciones y la consiguiente elaboración de mapas de ruido.

Tabla 1. Configuración del software.

<i>Ítem</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Opción</i>
General	Error máximo (dB)	0
	Radio máximo de búsqueda (m)	200
	Mínima distancia emisor-receptor (m)	0
	Interpolación de malla	Ninguna
	Extrapolar malla bajo edificios	Si
Partición	Apantallamiento rápido	No
	Factor raster	0.5
	Máxima longitud de sección (m)	1000
	Mínima longitud de sección (m)	1
	Mínima longitud de sección (%)	0
	Partición según RBLarm-92	No
	Proyección de emisores lineales	Si
	Proyección de emisores superficiales	Si
	Proyección sobre el modelo de terreno	No
	Máxima distancia emisor - receptor (m)	2000
	Radio búsqueda emisores (m)	2000
	Radio búsqueda receptores	2000
MDT	Altitud Estándar (m)	0
	Modelo de terreno	Triangulación
	Sólo bordes explícitos	No
	Objetos con altura "en cada punto" influyen MDT	No
Absorción Terreno	Absorción de Terreno G	0

2.3.2 Especificaciones del modelo

Para iniciar el modelado en primera instancia se llevó a cabo un relevamiento de las características edilicias de la zona residencial bajo análisis, de modo tal de poder elaborar una base de datos referente al trazado de las calles, el ancho de calzadas y veredas, y la distribución y las alturas de las edificaciones. Así mismo para complementar el relevamiento se empleó como fuente de información la aplicación Google Earth Pro y su opción Street View (principalmente para estimar alturas mediante la visualización de fachadas en aquellas edificaciones que no se encontraban modeladas tridimensionalmente).

En manzanas donde las edificaciones eran netamente residenciales con alturas de hasta dos plantas, se simplificó el modelado como una única unidad edilicia con una altura promedio de las relevadas en la manzana. Todas aquellas edificaciones que poseían una altura razonablemente mayor que el resto de las colindantes se las modeló de manera individual.

La distribución catastral del sector, fue modelada en el propio software de simulación a través de sus herramientas básicas de dibujo. Esto se realizó valiéndose de la opción de importación de archivos de mapas de bits georreferenciados obtenidos al sincronizar el software con la aplicación Google Earth Pro (ver figura 3).

El sector presenta una reducida variabilidad de las características de elevación del terreno, por lo que su influencia en la propagación acústica puede considerarse despreciable. Cabe citar que en el límite sur de la zona se encuentra la Av. Intendente Mestre, la cual posee una altura de entre 4 y 5 m, con relación a la altura del sector.

Para modelar este caso se utilizaron curvas de nivel y la opción de triangulación de puntos en el Modelo Digital de Terreno (MDT) del software, obteniendo una simulación de terreno aproximado a la realidad topográfica del lugar.



Figura 3. Modelado de la planimetría de la zona.

El software de simulación de niveles sonoros empleado brinda la posibilidad de utilizar bases de datos, a través de planillas de cálculo, donde las configuraciones y parámetros específicos para la simulación, pueden ser cargados de manera automatizada y sencilla (ver figura 4). Otorgando una gran versatilidad a la hora de modificar parámetros característicos de la simulación, los que se detallan a continuación:

- Parámetros relacionados a los elementos emisores: denominación de las calles, anchos de calzadas, niveles de presión sonora (nivel sonoro continuo equivalente: global ponderado A, o por banda de octava sin ponderación) y el uso de un parámetro relacionado a las reflexiones múltiples utilizado para ajustar que los niveles simulados se correspondan con los relevados en el terreno.

- Parámetros relacionados a los obstáculos: los denominados elementos obstáculos en la simulación, es la infraestructura edilicia existente en el área, como así también la disposición de los espacios verdes y la información topográfica del terreno (curvas de nivel). En este caso se empleó la base de datos para la identificación unívoca de cada unidad edilicia y su correspondiente altura ya que fueron modelados a través de formas paralelepípedas.

Base de Datos			
Fuente BD:	global	OK	
Tipo de Objeto:	<input checked="" type="checkbox"/> Importar Tipo de Objeto	Cancelar	
	Tabla: ROADS_DATA	Ayuda	
Asignar Columnas:			
Atributo	Columna de tabla		
KILO			
KILO_DESC			
LMET	LM_DBA		
LMEE			
LMEN			
RQ	ANCHO		
FBABST			

ID	REF_PUNTO_MED	ANCHO	LM_DBA
LARR_1400	Pto001	w11	68,70
LARR_1700	Pto002	w13	71,60
LARR_1800	Pto003	w7	61,50
AJC_1400	Pto004	w6,5	59,90
AJC_1600	Pto005	w7	54,70
AJC_1800	Pto006	w12	69,30
MD_1200	Pto007	w9	58,90
MD_1500	Pto008	w6	57,70
MD_1800	Pto009	w9	57,30
JJP_1000	Pto010	w9	62,10
JJP_1300	Pto011	w9	60,50
JJP_1600	Pto012	w9	59,40

Figura 4. Base de datos realizada para facilitar la carga de datos.

•Parámetros relacionados a los puntos de inmisión o receptores: los puntos receptores dentro del plano de simulación se ubican de tal manera que se correspondan con los puntos de medición, esto ayuda a validar los niveles sonoros simulados. Los parámetros relativos a dicho punto son las coordenadas del mismo y la altura con respecto al suelo.

3 Resultados

A continuación se presentan los mapas de niveles sonoros globales (dBA) y por bandas de octava (dB).

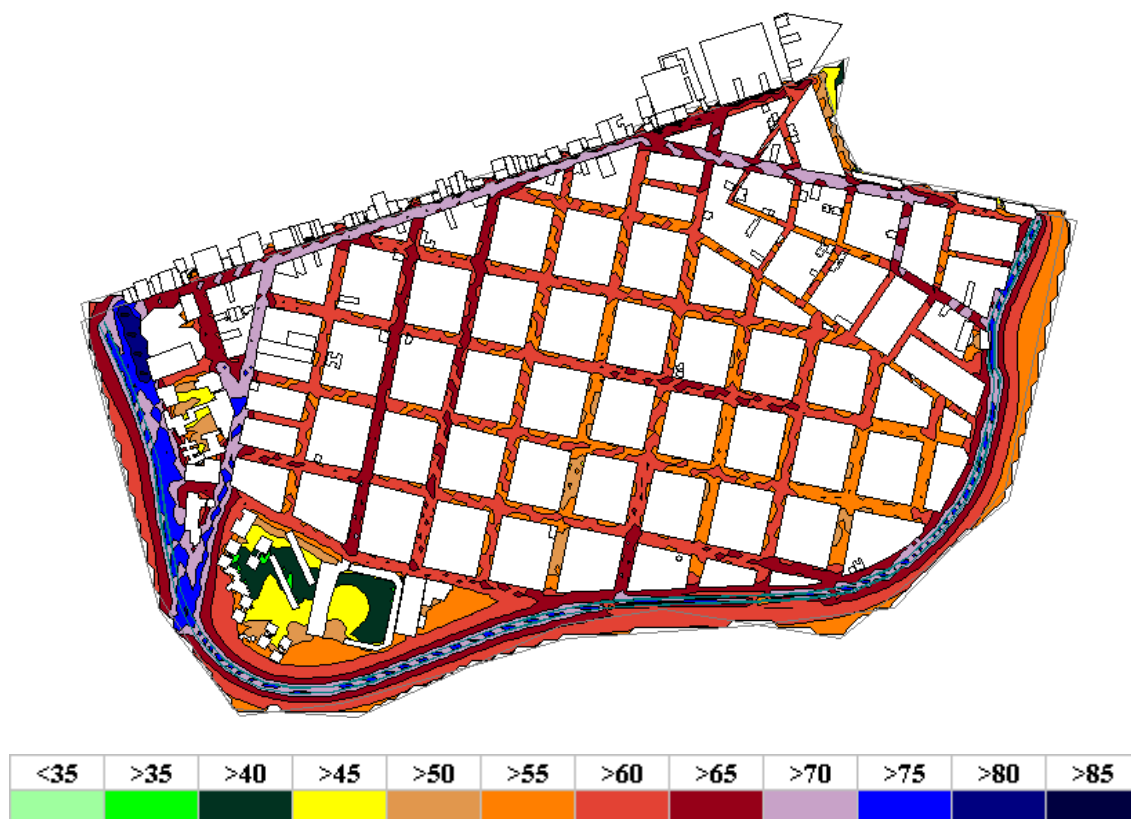


Figura 5. Mapa niveles globales (dBA).

Al analizar el mapa de niveles globales se puede observar en la figura 5, que existen zonas en la periferia en las cuales los niveles obtenidos son muy elevados, entre 65 y 80 dBA.

Esto encuentra sustento al analizar el aforo realizado sobre el tráfico vehicular en las calles donde se registraron los niveles de ruido más elevados (Av. Intendente Mestre, Rosario de Santa Fe, Bahía Blanca, Larrea), el número de vehículos contabilizados en promedio es de 800 vehículos/h.

En el interior de la zona estudiada, formada por vías de circulación que conforman el trazado propio del entramado residencial, los niveles de contaminación acústica son relativamente bajos —entre 45 y 65 dBA— en comparación con los registrados en las arterias periféricas. Lo cual se justifica por el aforo relevado en dicha zona, donde el promedio es de 74 vehículos/h, siendo esto 10 veces menor al aforo promedio en la periferia.

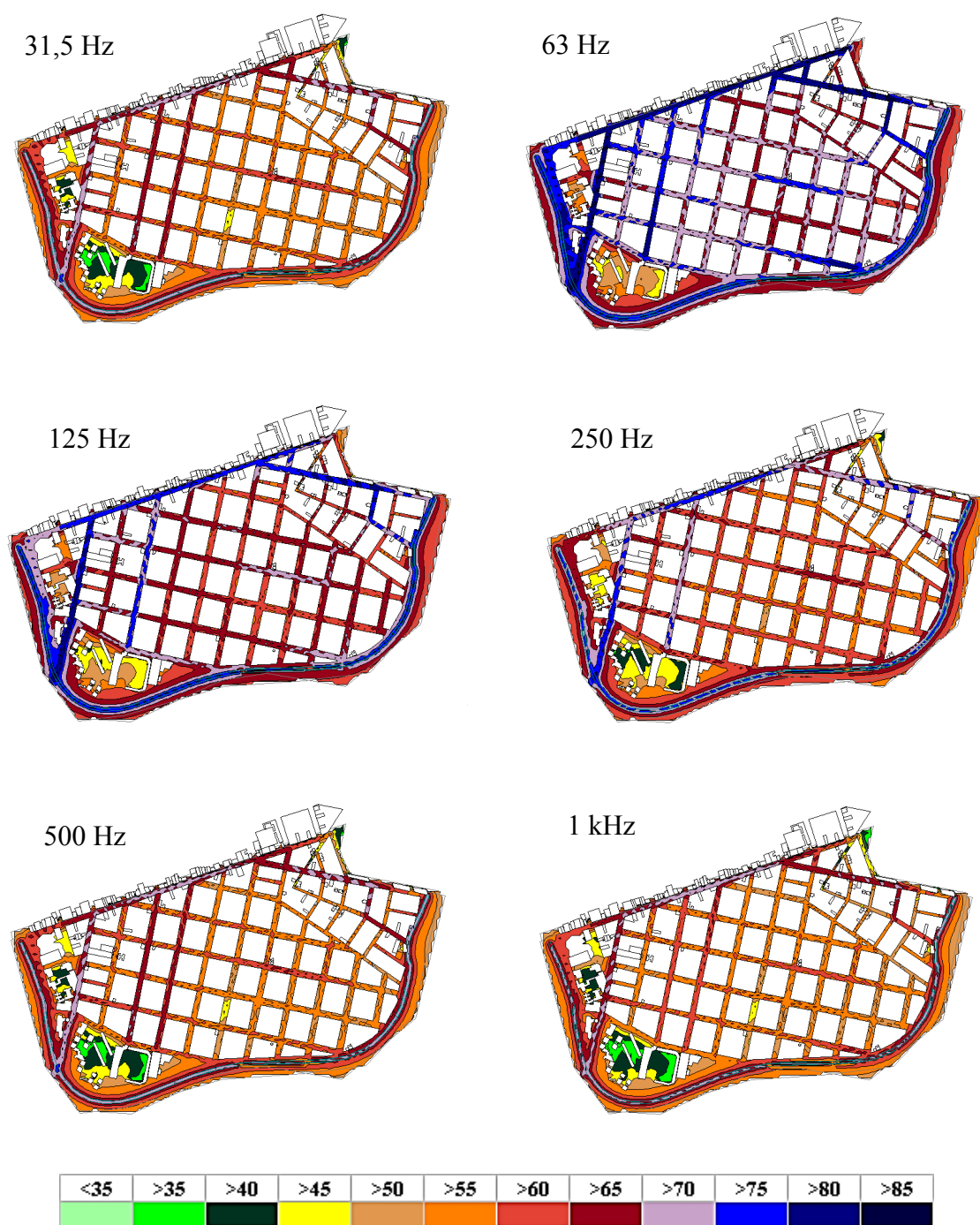


Figura 6. Mapas espectrales en bandas de octavas (dB).

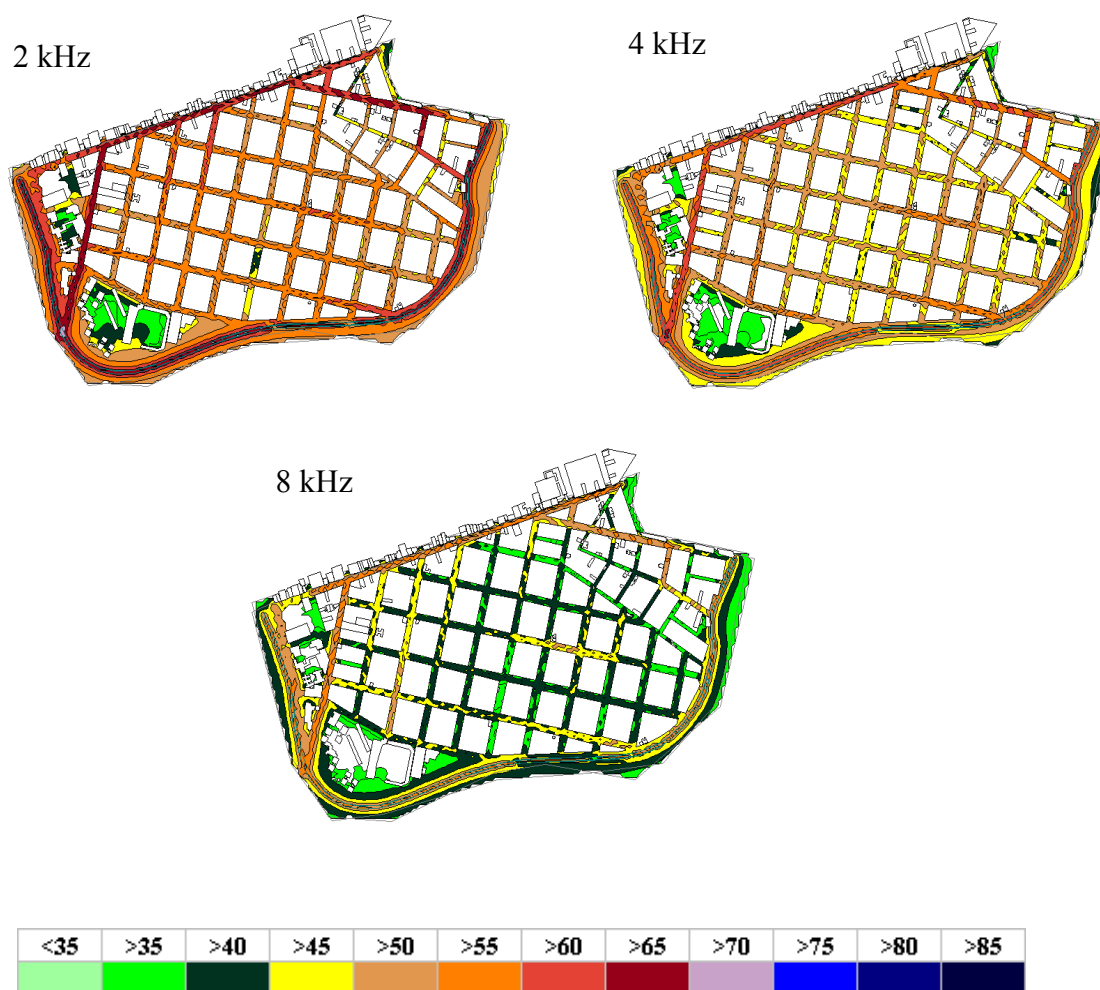


Figura 6 (continuación). Mapas espectrales en bandas de octavas (dB).

En cuanto a los mapas espectrales, los niveles relevados evidencian un gran contenido energético en las bandas de 63 Hz y 125 Hz (ver figura 6), pudiendo entonces identificar al ruido del tránsito vehicular de la zona como el principal causante de la contaminación sonora.

Asimismo se puede advertir que los niveles de la banda de 63 Hz tanto en la periferia como en la zona interior difieren, en su mayoría, por no más de 5 dB. Mientras que en el mapa de niveles globales se encuentran diferencias de hasta 15 dBA entre dichas zonas.

4 Conclusiones

Al poner mayor énfasis en la realización de mapas de ruido espectrales se logró encontrar un buen complemento a los mapas de ruido expresados en niveles globales con ponderación A, ya que provee una imagen más detallada de la situación acústica en la zona bajo estudio.

Un ejemplo de esto se presenta al comparar el mapa espectral de 63 Hz con el de niveles globales, donde se manifiestan dos situaciones distintas del campo sonoro de la zona. En el primero, los niveles sonoros son similares tanto en la periferia como en el interior. Mientras que en el mapa de niveles globales se encuentran diferencias de hasta 15 dBA entre dichos sectores.

Asimismo el trabajo con mapas espectrales resulta útil en situaciones donde se desea estimar los niveles de presión sonora en el interior de las viviendas, a efectos de diseñar una

correcta aislación de la edificación, principalmente en aquellas bandas espectrales con alto contenido energético.

Agradecimientos

Este trabajo se enmarca dentro del PID UTN 3448: “Contaminación sonora en la ciudad de Córdoba y estrategia educativa para su concientización”, que cuenta con el financiamiento brindado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica Nacional, como así también del Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA) – Unidad Asociada del CONICET, de la Facultad Regional Córdoba – Universidad Tecnológica Nacional.

Referencias

- Accolti, E.; Miyara, F.; Marengo, F.; Miechi, P.; Mignini, E.; Pasch, V.; Cabanellas, S.; Yanitelli, M. (2011). “Georeferenced spectral maps. An improved instrument for action planning on environmental noise mitigation.”. *Mecánica Computacional* (30). 3075-3085.
- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. (2002). “Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental”. Diario oficial de la UE L189/12-25, del 18 de Julio de 2002.
- European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN) (2007). “Good practice guide for strategic noise mapping and the production of associated data on noise exposure”. Position paper, Tech. Rep. 004. Brussels, Belgium. 1-129.
- IRAM 4062. (2001) “Ruidos molestos al vecindario. Método de medición y clasificación”.
- ISO 9613-2 (1996). “Acoustics -- Attenuation of sound during propagation outdoors -- Part 2: General method of calculation”.
- Jakovljevic, B.; Paunovic, K.; Belojevic, G. (2009). “Road-traffic noise and factors influencing noise annoyance in an urban population,” *Environmental International*. (35). 552–556.
- Kim, J.; Lim, C.; Hong, J.; Lee, S. (2010). “Noise-induced annoyance from transportation noise: short-term responses to a single noise source in a laboratory”. *Journal Acoustical Society of America*, (127), 804–814.
- Leventhall, H. (2004). “Low frequency noise and annoyance”. *Noise and Health*. (6) 59-72.
- Murillo, D.; Gil, J.; Zapata, V.; Téllez, J. (2015). “Assessment of the RLS 90 calculation method for predicting road traffic noise in Colombian conditions”. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N. ° 75* pp. 175-188, June, 2015.
- RLS-90 (1990). “Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen”. Der Bundesminister Für Verkehr. Abteilung Straßenbau. Ausgabe.
- Suárez Silva, E.; Barros Rojas, J.; Báez Montenegro, A.; Stevens Castro, J.; Romero Gajardo, J.; Alvarez Rodenbeek, J.; González Rivera, C.; Rey Gozalo, G. (2011) “Mapa de Ruido de la Comuna de Santiago de Chile Mediante Modelación”. INGEACUS 2011 Congreso Internacional de Acústica y Audio Profesional. Valdivia, Chile.
- Suárez, E.; Barros, J. (2014). “Traffic noise mapping of the city of Santiago de Chile”. *Science of the Total Environment* 466–467 (2014) 539–546.
- Torija, A.; Flindell, I. (2014). “Differences in subjective loudness and annoyance depending on the road traffic noise spectrum”. *Journal Acoustical Society of America*. (135) 1, 1-4.
- Torija, A.; Flindell, I. (2015). “The subjective effect of low frequency content in road traffic noise”. *Journal Acoustical Society of America*. (137) 1, 189-198.
- Verzini, A.; Serra, M.; Ortiz Skarp, A.; Petiti I.; Henin, C.; Maza, D.; Perez Villalobo, J.; Lorenzo, J. (2011). “Investigación Interdisciplinaria sobre la Contaminación Sonora en la Ciudad de Córdoba y Mapas de Ruido”. Universidad Tecnológica Nacional, 2011;. ISBN 978-950-42-0136-6. 123-132