

Estrategias para la adquisición de información asociada a tráfico vehicular y su aplicación en
mapas de ruido

Carolina Duque Gutiérrez, ✉ carolinaduque96@gmail.com

Trabajo de Grado presentado para optar al título de Ingeniero de Sonido

Asesor: Diego Mauricio Murillo Gómez Doctor (PhD) en Sonido y Vibraciones.

Anderson Ladino Velásquez Magíster (MSc) en Ingeniería Acústica



Universidad de San Buenaventura Colombia

Facultad de Ingenierías

Ingeniería de Sonido

Medellín, Colombia

2019

Citar/How to cite [1]

Referencia/Reference [1] C. Duque Gutiérrez, “Estrategias para la adquisición de información asociada a tráfico vehicular y su aplicación en mapas de ruido.”, Trabajo de grado Ingeniería de Sonido, Universidad de San Buenaventura Medellín, Facultad de Ingenierías, 2019.

Estilo/Style:
IEEE (2014)



Grupo de Investigación (SIGLA): GIMSC

Línea de investigación en Acústica Ambiental

Bibliotecas Universidad de San Buenaventura



Biblioteca Digital (Repositorio)
<http://bibliotecadigital.usb.edu.co>

- Biblioteca Fray Alberto Montealegre OFM - Bogotá.
- Biblioteca Fray Arturo Calle Restrepo OFM - Medellín, Bello, Armenia, Ibagué.
- Departamento de Biblioteca - Cali.
- Biblioteca Central Fray Antonio de Marchena – Cartagena.

Universidad de San Buenaventura Colombia

Universidad de San Buenaventura Colombia - <http://www.usb.edu.co/>

Bogotá - <http://www.usbbog.edu.co>

Medellín - <http://www.usbmed.edu.co>

Cali - <http://www.usbcali.edu.co>

Cartagena - <http://www.usbctg.edu.co>

Editorial Bonaventuriana - <http://www.editorialbonaventuriana.usb.edu.co/>

Revistas - <http://revistas.usb.edu.co/>

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mi madre y mi padre por haber sido un gran apoyo en mi formación profesional, siempre presentes en mis momentos de dificultad, dándome toda la calma y paciencia para afrontar los problemas con serenidad. Ellos son el pilar de mi vida.

Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a la vida por permitirme realizar este proyecto el cual ha abierto muchas puertas en mi camino y me ha enseñado muchas cosas a lo largo de su realización. En segundo lugar, agradezco a mi madre y mi padre por el apoyo brindado tanto en el proceso de realización del trabajo como a lo largo de mi formación profesional próxima a terminar. Además, quiero agradecer a mis asesores Diego y Anderson por tenerme la paciencia a la hora de la elaboración de este proyecto y el artículo. A todos infinitas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
I. INTRODUCCIÓN	14
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
A. Antecedentes	16
1) Modelos de predicción de tráfico	16
2) Obtención de datos de densidad de tráfico	17
3) Tráfico vehicular y mapas de ruido	18
III. JUSTIFICACIÓN.....	19
IV. OBJETIVOS	20
A. Objetivo general	20
B. Objetivos específicos	20
V. MARCO TEÓRICO.....	21
A. Acústica	21
1) Sonido.....	21
2) Nivel de presión sonora	22
3) Decibel.....	22
4) Ponderación de frecuencia o curvas de ponderación.....	22
5) Ruido ambiental.....	24
6) Fuentes de ruido ambiental.....	24
7) Mapas de ruido	25
8) Modelo alemán: RLS 90.....	26
9) Indicadores de ruido	27
10) Software de predicción de tráfico: SoundPlan	29

B. Medidas de posición o de tendencia central	30
1) Media aritmética simple	30
2) Mediana	31
3) Moda	31
C. Correlación de datos	31
D. Tráfico vehicular	31
1) Brecha o GAP	32
2) Aforo vehicular	32
3) Métodos para realizar aforos vehiculares	32
E. Sistemas colaborativos.....	33
1) Sistemas colaborativos de acuerdo a Tiempo y Espacialidad	33
2) Funciones de los sistemas colaborativos	33
F. Plan de ordenamiento territorial.....	33
1) Plan de ordenamiento territorial de la ciudad de Medellín.....	33
VI. METODOLOGÍA	34
A. Recolección de información	35
B. Organización de la información	39
C. Análisis de la información obtenida por tipo de vía.....	41
D. Obtención de la distribución de vehículos por tipo de vía	42
E. Propuesta de modelo analítico para la estimación de flujo vehicular	43
VII. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	47
A. Estimación del flujo vehicular de acuerdo al modelo analítico propuesto.....	48
B. Análisis del impacto del flujo vehicular en la emisión de ruido	48
C. Análisis de los datos obtenidos al aplicar el modelo de estimación propuesto	58
VIII. CONCLUSIONES.....	63

LISTA DE TABLAS

TABLA I. COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE AFORO EN EL SECTOR DE LOS CONQUISTADORES.....	38
TABLA II. EJEMPLO DE LOS DATOS DE AFORO TOMADOS EN CAMPO ORGANIZADOS	39
TABLA III. EJEMPLO DE LOS DATOS PROMEDIADOS PARA CADA UNO DE LOS PUNTOS AFORADOS.....	41
TABLA IV. PUNTO DE AFORO EN EL SECTOR DE LA IGUANÁ (VÍA ARTERIA).....	41
TABLA V. PUNTO DE AFORO EN EL SECTOR DE LA IGUANÁ (VÍA ARTERIA)	41
TABLA VI. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE VEHÍCULOS POR TIPO DE VÍA	43
TABLA VII. MEDIDA DE LOS CARRILES DE ACUERDO AL TIPOLOGÍA DE VÍA	43
TABLA VIII. DIMENSIONES DE LOS VEHÍCULOS PROMEDIADOS	45
TABLA IX. FACTOR DE CORRECCIÓN	48
TABLA X. AFORO CIUDAD DEL RÍO HORA VALLE	52
TABLA XI. AFORO CIUDAD DEL RÍO HORA PICO	54
TABLA XII. AFORO LOS CONQUISTADORES HORA PICO	55
TABLA XIII. AFORO LOS CONQUISTADORES HORA VALLE.....	56

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Curvas de igual sonoridad.....	23
Fig. 2. Curvas de ponderación.....	24
Fig. 3 Ejemplo de mapa de ruido.	26
Fig. 4. Ejemplo de percentiles	28
Fig. 5. Pantalla inicial del software de predicción SoundPlan	30
Fig. 6. Brecha o GAP	32
Fig. 7. Metodología usada para la predicción de ruido de tráfico rodado.....	35
Fig. 8. Sector de Los Conquistadores y Ciudad del Río	36
Fig. 9. Sector de San Diego, El Campestre y La Iguaná	37
Fig. 10. Sector de Robledo, calle Colombia con la carrera 65y calle Colombia con la carrera 80	37
Fig. 11. Modelo de estimación de tráfico.....	46
Fig. 12. Nivel de emisión de ruido respecto al número de vehículos al variar el porcentaje de vehículos pesados.....	49
Fig. 13. Nivel de emisión de ruido respecto al número de vehículos al variar la velocidad para la vía Arteria Principal	50
Fig. 14. Nivel de emisión de ruido respecto al número de vehículos al variar la velocidad para la vía Colectora	51
Fig. 15. Nivel de emisión de ruido respecto al número de vehículos al variar la velocidad para la vía de Servicio.....	51
Fig. 16. Nivel de emisión de ruido respecto al número de vehículos al variar la velocidad para la vía Arteria Menor	52
Fig. 17. Comparación entre los niveles de ruido continuos equivalentes simulados con el número de vehículos tomados en campo, estimados y estimados con el factor de corrección en el sector de Los Conquistadores en hora pico	58
Fig. 18. Comparación entre los niveles de ruido continuos equivalentes simulados con el número de vehículos tomados en campo, estimados y estimados con el factor de corrección en el sector de Los Conquistadores en hora valle	59

Fig. 19. Comparación entre los niveles de ruido continuos equivalentes simulados con el número de vehículos tomados en campo, estimados y estimados con el factor de corrección en el sector de Ciudad del Río en hora pico59

Fig. 20. Comparación entre los niveles de ruido continuos equivalentes simulados con el número de vehículos tomados en campo, estimados y estimados con el factor de corrección en el sector de Ciudad del Río en hora valle60

Fig. 21. Diferencia entre el nivel de ruido simulado con el número de vehículos aforado en campo y el número de vehículos estimado con el factor de corrección aplicado en Ciudad del Río61

Fig. 22. Diferencia entre el nivel de ruido simulado con el número de vehículos aforado en campo y el número de vehículos estimado con el factor de corrección aplicado en Los Conquistadores 62

RESUMEN

Este proyecto está enfocado en la adquisición de datos colaborativos de flujo vehicular para predecir el ruido generado en las vías urbanas, con el fin de realizar mapas de ruido. Para esto, la información de tráfico es adquirida usando plataformas colaborativas como Google Maps. La misma brinda información de tiempo de viaje y velocidad en tramo determinado.

Para establecer el flujo de tráfico, se realiza una correlación de la cantidad de vehículos que circulan con una velocidad específica en cierto tipo de vía. Para esto es necesario caracterizar las calles en la ciudad de Medellín y estudiar su usual comportamiento. Esto es posible, al estudiar la información tomada en campo por estudiantes de la Universidad de San Buenaventura y brindada por la Secretaría de Movilidad de Medellín, y datos obtenidos con Google Maps. Una de las metodologías propuestas es encontrar la correlación llenando un área con la cantidad de vehículos que normalmente viajan en una vía específica. Luego de acuerdo a la velocidad, se determina la cantidad que circulan en cierto período de tiempo. Teniendo en cuenta el espacio entre vehículos llamado brecha o gap. En adición, se estudió la sensibilidad de los datos obtenidos en términos de la emisión de ruido realizando simulaciones con los mismos.

La metodología propuesta ha sido probada en dos áreas de la ciudad. Los resultados indican que es posible usar la información dada por Google Maps para predecir ruido urbano. Sin embargo, se necesitan análisis más profundos para mejorar la estimación del flujo de tráfico basado en el tipo de vía, la velocidad y el tiempo de viaje.

Palabras clave: Artículo científico, Artículo de revisión, Investigación, Estilos de citación, Mapas de ruido, Sistemas colaborativos, Función de correlación, Tráfico vehicular, Aforo vehicular.

ABSTRACT

This project addresses the acquisition of non-authoritative collaborative traffic flow data to predict the noise generated by urban roads, in order to do noise maps. For this, traffic information is acquired using collaborative platforms such as Google Maps, which gives the information of travel time and speed in a length path.

To determine the traffic flow, it has been done a correlation of the amount of vehicles that travel with a specific speed in a certain type of road. For this, it was necessary to characterize the roads in the city of Medellín and to study its typical behavior with help of data taken in field by students of the Universidad de San Buenaventura and information given by the Secretaría de Movilidad of Medellín, and data taken from Google Maps. One of the methodologies proposed was to find the correlation by filling an area with the amount of vehicles that typically travels a specific road then according to the speed determinate the amount that circulate in certain time, taking into account the space between vehicles called Gap. Besides, it was studied the sensibility of the obtained data in terms of the noise emission doing some simulations with it.

The proposed methodology has been tested in two areas of the city. The results indicate that it is possible to use Google Maps information to predict urban noise although further analysis are required to improve the estimation of traffic flow based on the type of road, speed and time travel.

Keywords: Scientific article, Review article, Research, Citation styles, Noise map, Collaborative platforms, Correlation function, Traffic flow, Urban roads.

I. INTRODUCCIÓN

Los mapas de ruido han sido una estrategia efectiva y ampliamente utilizada a la hora de realizar diagnósticos, predicción, evaluación, gestión y seguimiento de la situación acústica de una zona determinada [1]. El problema de ruido en las ciudades se genera mayormente por el tráfico vehicular, el cual crece en conjunto con las ciudades por ende el problema aumenta. Además, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, el ruido ambiental es la segunda causa de enfermedad por motivos medio ambientales [2]. Por lo que es necesario aplicar estrategias para el diagnóstico, planeación, corrección y seguimiento de la situación acústica de las ciudades.

Actualmente, la toma de aforo es la principal fuente de insumo para los softwares de predicción de ruido ambiental y para la realización de los mapas de ruido. Sin embargo, esta actividad es muy costosa debido a la cantidad de tiempo y personal que se debe invertir para esto. Debido a que los mapas de ruido se realizan generalmente para grandes ciudades, esto significa mayor cantidad de personas. Además, debido a la naturaleza humana es común que se produzcan errores a la hora de realizar el conteo vehicular.

Este proyecto pretende proponer un modelo de estimación de tráfico vehicular con el cual se reduzcan los costos en la realización de mapas de ruido, a partir de datos entregados por plataformas colaborativas como Google Maps. Al hacer uso de estas plataformas, igualmente se reducen los costos de obtención de los datos pues son de uso libre, es decir que no tienen costo.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad existe un grave problema de ruido en las ciudades, que se genera en gran proporción por la circulación del parque automotor [5]. Para el monitoreo de ruido se realizan mediciones periódicas, donde es necesario atender en paralelo las mediciones de ruido y registros manuales de aforo vehicular. Esto conlleva a errores humanos en la medición y aumentos en los costos operativos de la misma pues es necesario un mayor número de personas por equipo de trabajo.

El realizar procedimientos de toma aforo vehicular de manera manual, hace que se generen diferentes errores en la información captada. Esto se debe a que normalmente los datos se toman en grandes avenidas y el rango de visión del ser humano es reducido. Además, la obtención de los datos genera grandes costos a la hora de realizar los mapas de ruido debido al número de personas y tiempo invertido en la elaboración de los mismos.

Con el desarrollo de nuevas tecnologías ha sido posible conectar al usuario con su entorno rápidamente y facilitar la obtención de información de interés, como es el caso del tráfico vehicular. Plataformas como Google Maps permiten observar la densidad de tráfico en tiempo real. Sin embargo, este no brinda información de aforo vehicular, por lo que no se conoce cuantos vehículos circulan en una zona determinada para considerar que el tráfico sea lento o fluido. Los sistemas colaborativos son muy útiles para brindar información al público y para extraer datos de los mismos, debido a su fácil uso y la rapidez con la que los datos son actualizados. Con ayuda de estos, es posible facilitar ciertos procesos que hasta la fecha no se han optimizado como el aforo vehicular que se hace de manera manual.

De acuerdo a lo anterior surge la pregunta ¿Es posible crear un sistema que optimice el registro de aforo vehicular teniendo en cuenta la jerarquización de las vías en la ciudad de Medellín? De ser así, ¿Existe una alternativa viable para optimizar dicho registro encontrando una relación entre datos de densidad de tráfico obtenidos por medio de grandes sistemas colaborativos y el aforo vehicular?

A. Antecedentes

1) Modelos de predicción de tráfico

El tráfico vehicular en la actualidad es un reto a resolver debido al número de usuarios cada vez mayor que necesitan transportarse hacia las ciudades para realizar diferentes actividades económicas, sociales, culturales, entre otras [3]. Es por esta razón que se ha tratado de encontrar herramientas efectivas que permitan realizar la predicción del tráfico vehicular en las ciudades.

El uso y desarrollo de sistemas inteligentes para resolver problemas es una herramienta de gran ayuda cuando los modelos matemáticos no logran representar el comportamiento de un sistema. Las redes neuronales artificiales, son aplicadas como mecanismo para predecir tráfico en redes de alta velocidad para controlar la congestión, predicción dinámica del ancho de banda, predicción de errores y clasificación de tráfico, entre otras [4]. Por otro lado, se han reportado diferentes enfoques para abordar el problema sobre congestión en el tráfico vehicular, destacándose los modelos macroscópicos, en los cuales, no se toman en cuenta las características específicas de los vehículos y se promedian las variables principales que intervienen, tales como tamaño de vehículos y distancia de separación entre los mismos [3] [5].

Se ha intentado representar el tráfico vehicular de acuerdo con la teoría hidrodinámica, pero hasta ahora dichos modelos solo han permitido representar situaciones muy simples del comportamiento del flujo vehicular. También han sido desarrollados algunos modelos de simulación para representar el movimiento del flujo vehicular a nivel microscópico. Pero estos modelos requieren gran cantidad de información para representar cada detalle de la infraestructura vial y de la demanda de transporte, información que no está disponible. También se han utilizado modelos de simulación para representar carreteras, donde el comportamiento del flujo vehicular es más simple que en las áreas urbanas [5].

Además de los métodos de predicción de tráfico mencionados anteriormente, también se ha determinado un modelo basado en redes neuronales para predecir el comportamiento del tráfico a partir de variables como la geometría de la vía, intensidad vehicular en la misma, intensidad

vehicular en las entradas a la vía y salida de esta, número de carriles de la vía, maniobras de conductores, etc. [6]. La estructura del modelo que representa mejor el comportamiento de la congestión es la que tiene dos capas, la primera capa con 3 neuronas [4] [7].

2) Obtención de datos de densidad de tráfico

Existen diferentes métodos usados para predecir parámetros del tráfico incluyendo el promedio histórico, el análisis regresivo, el filtrado Kalman, redes neuronales artificiales [8], gradiente conjugado [9], entre otros.

Las redes neuronales artificiales están inspiradas en los sistemas nerviosos biológicos, donde existen diversas unidades de procesamiento que realizan diferentes funciones. Estas unidades se conocen como neuronas. Al utilizar este método, donde las entradas del sistema son el volumen y la velocidad para estimar la variable de densidad, el resultado fue satisfactorio debido a que el error medio de porcentaje absoluto (valor utilizado para comprobar el funcionamiento del método) estuvo entre 2% y 5%, mientras que al tomar datos previos de la densidad de tráfico y predecir la misma el error estuvo entre 10% y 12% [8].

Otro método que se ha implementado para la estimación de la densidad tráfico vehicular consiste en estudiar cierta información entregada por smartphones, utilizando una aplicación llamada My Track la cual registra datos como las coordenadas del vehículo (latitud y longitud), la exactitud de la locación y la velocidad del vehículo. A partir de estos datos, se realizan ciertos cálculos utilizando un modelo macroscópico. El resultado obtenido fue que al comparar la información obtenida por medio de la medición con los celulares y la obtenida al hacer un conteo manual de aforo vehicular, el error entre estos dos flujos de tráfico dio entre 1.3% y 15% [10].

Al igual que en la predicción de tráfico vehicular, para obtener los datos de densidad de tráfico se usan modelos macro y microscópicos. El primero usa detección de movimiento y métodos de rastreo que son extraídos de secuencias de video. El segundo usa parámetros directamente estimados del análisis del movimiento general de la escena de video. Luego, estas características se clasifican y se determina a que corresponde el tráfico ligero, medio y pesado [11].

Todos los métodos mencionados anteriormente son válidos, sin embargo en el caso específico de Google Maps, el método utilizado es la información proveniente de los smartphones. Esta plataforma usa los datos brindados de los usuarios de esta aplicación. Al ser instalada y tener los servicios de ubicación activos, la misma envía datos como la velocidad a la que se está moviendo el usuario en tiempo real y otros, a Google de modo que se tiene la información necesaria para realizar un promedio la velocidad a la cual se encuentran los vehículos y de esta forma determinar las características del tráfico [12].

3) Tráfico vehicular y mapas de ruido

Con el crecimiento de las ciudades, se ha visto un incremento en el ruido proveniente de diversos fuentes sonoras. Con esto se ha presentado la necesidad de monitorear este fenómeno para tener un registro del mismo y a su vez determinar las causas de la contaminación auditiva [13]. Por medio de estudios, y la realización de mapas de ruido se ha podido observar y afirmar que el tráfico vehicular es el mayor generador de ruido [14].

Con la evolución y desarrollo de la tecnología se ha facilitado el proceso para hacer mapas de ruido ambiental. Los cuales pueden ser realizados ágilmente por medio de simulaciones por computador [14]. Su exactitud depende de la calidad y precisión de los datos suministrados al modelo [15]. Para la realización de los mapas de ruido se necesitan datos como modelos digitales del terreno, cartografía digital, ferrocarriles, carreteras y diferentes focos generadores de ruido, sin embargo obtener esta información es costoso [16]. Buscando soluciones a este problema, se crearon diferentes iniciativas open source con el fin de obtener datos asociados con el ruido ambiental. Además se han desarrollado algoritmos que analizan videos para estimar aforos vehiculares y de esta manera optimizar tanto económicamente como temporalmente la realización de mapas de ruido [17].

III. JUSTIFICACIÓN

Debido al gran crecimiento de las ciudades, se ha visto la necesidad del monitoreo constante del ruido producido por diferentes fuentes en las mismas. Además de los planes de gestión que permiten darle solución a los problemas de contaminación auditiva. Una de las estrategias de monitoreo más utilizadas son los mapas de ruido. En la actualidad estos son desarrollados en softwares de cálculo que agilizan el proceso de realización de los mismos y además permiten procesos de gestión. Unos de los datos de entrada de los softwares es el aforo vehicular que generalmente son realizados manualmente en campo siendo un proceso engorroso y costoso. Es por esta razón que se ve la necesidad de desarrollar una metodología y un modelo que permita estimar fácilmente el aforo vehicular de acuerdo al tipo de vía. Este proyecto tiene como finalidad la realización y comprobación del modelo.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Realizar una estrategia para la adquisición y procesamiento de información asociada a tráfico vehicular para su uso en el desarrollo de mapas de ruido.

B. Objetivos específicos

- Clasificar los datos de aforo vehicular proporcionados por la Secretaría de Movilidad de la ciudad de Medellín y los sistemas colaborativos de acuerdo al tipo de vía según el Plan de Ordenamiento Territorial.
- Desarrollar un modelo para la estimación de datos de aforo vehicular a partir de información de densidad de tráfico de acuerdo a la tipología de la vía.
- Determinar la sensibilidad del modelo propuesto en términos del nivel de ruido.

V. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se hace una introducción al área de la acústica y las variables que esta se encarga de estudiar. Además se explica la ponderación de frecuencia, mención del ruido ambiental, las herramientas de evaluación del mismo como lo es el mapa de ruido, los indicadores que permiten su cualificación, entre otros aspectos relevantes como los métodos.

Posteriormente, se definen las medidas de tendencia central, las cuales son muy importantes en el desarrollo del presente proyecto. También se menciona qué es la correlación de datos y los tipos que se pueden llegar a presentar.

Luego se habla del tráfico vehicular, qué lo compone, y cómo se obtienen datos de aforo vehicular a la hora de ser necesario. Además de la obtención de información de tráfico rodado, también se define cómo es posible adquirir datos por medio de plataformas colaborativas, sus funciones y tipos.

Por último, se explica qué es un Plan de Ordenamiento Territorial (P.O.T), sus funciones, y se explica brevemente en qué consiste el P.O.T de la ciudad de Medellín, y la clasificación de las vías en esta ciudad, las cuales se encuentran en el documento mencionado anteriormente.

A. Acústica

La acústica es la rama de la física que estudia diferentes elementos pertenecientes al fenómeno sonoro, como su generación, propagación, recepción, entre otros [18].

1) Sonido

El sonido es la propagación de la perturbación de las partículas en un medio sea sólido, líquido y gaseoso. Este es una onda longitudinal, es decir oscilaciones en la presión del medio la cual es percibida por el sistema auditivo de los seres vivos. El sonido por ser una onda posee diferentes cualidades como amplitud, frecuencia, longitud de onda, etc. [1] [19].

2) Nivel de presión sonora

El nivel presión sonora es la cantidad de presión que está generando la onda sonora en el medio y se da en decibeles, debido a que el rango de presión sonora que percibe el oído humano es muy amplio [19]. Esta viene dada por la siguiente ecuación:

$$L_p = 10 \log_{10} \left[\frac{p(t)^2}{p_0^2} \right] \quad (1)$$

Donde $p_0 = 20 \mu Pa$ la cual es la presión de referencia de la escucha del oído humano.

3) Decibel

El bel es una unidad de medida de razones inventado por ingenieros del equipo de trabajo de Bell Labs para cuantificar la reducción del nivel acústico [19]. El decibel (dB) es la décima parte de un bel. Esto simboliza un cambio de la escala lineal a una escala logarítmica. Este se utiliza para expresar diferentes niveles como presión sonora, potencia, intensidad, etc. El decibel depende de la unidad de medida que se esté relacionando [19].

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{Unidad}}{\text{Unidad de referencia}} \right) \quad (2)$$

4) Ponderación de frecuencia o curvas de ponderación

La respuesta o sensibilidad del oído humano es dependiente de la frecuencia debido a su composición física. Para representar el comportamiento del sistema auditivo con respecto al cambio frecuencial, se realizaron diferentes pruebas auditivas las cuales dieron como resultado las curvas isofónicas o de igual sonoridad [1], [20], las cuales se muestran en la figura 1.

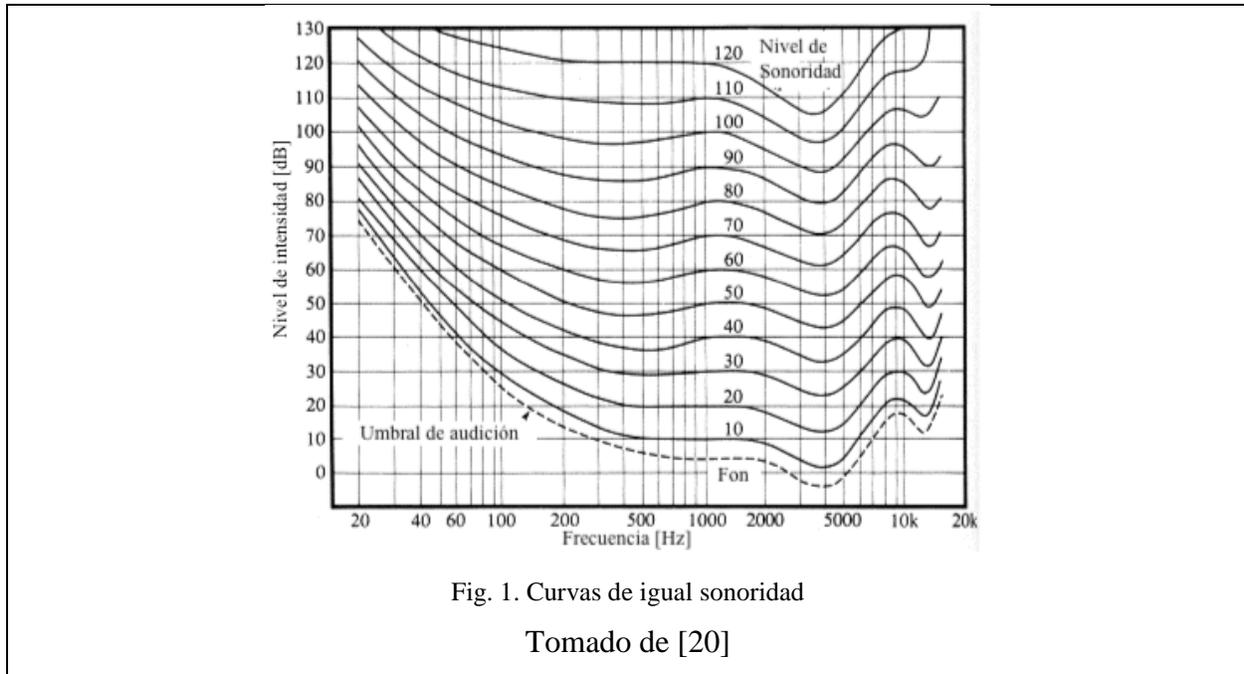


Fig. 1. Curvas de igual sonoridad
Tomado de [20]

Teniendo en cuenta lo anterior, las mediciones acústicas deben considerar estos factores, por ende se crearon las ponderaciones de frecuencia. Su función es ajustar los niveles de presión sonora de acuerdo a la respuesta en frecuencia del oído humano y se basan en las curvas de igual sonoridad [20]. Existen diferentes curvas de ponderación como se ven en la figura 2.

- **Ponderación A:** Fue diseñada para amplitudes bajas, es decir niveles sonoros alrededor de 40dB. Es la más utilizada.
- **Ponderación B:** Esta curva se diseñó para amplitudes alrededor de 70dB.
- **Ponderación C:** Esta ponderación fue concebida para representar las curvas de igual sonoridad de más de 100 fonos o 100dB [1].

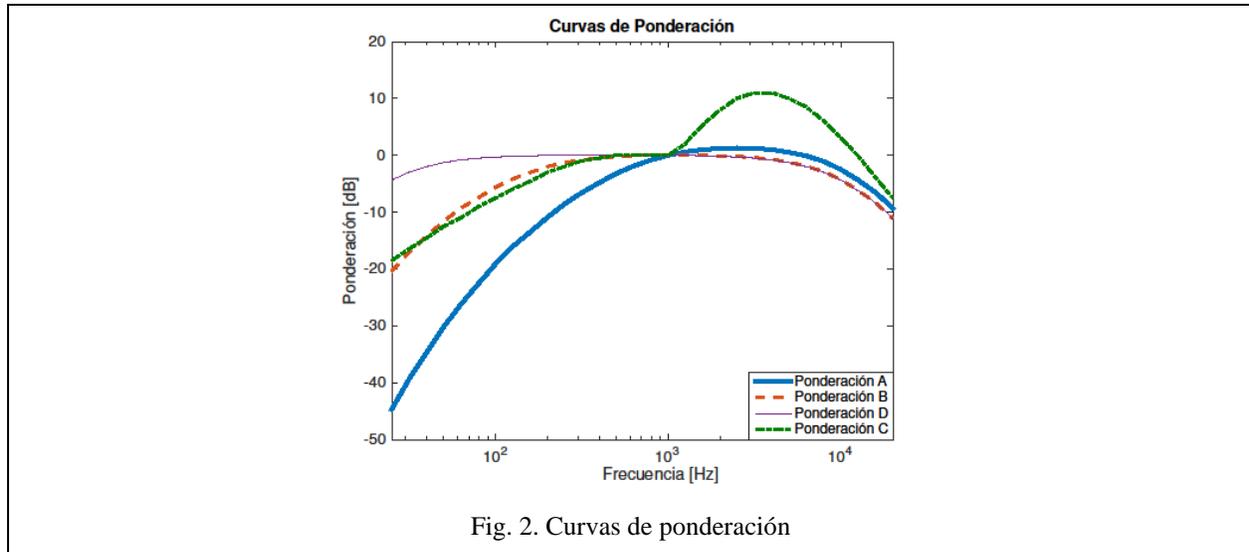


Fig. 2. Curvas de ponderación

5) *Ruido ambiental*

El ruido es cualquier sonido que no se desea, el cual puede interferir en la recepción del sonido. Ahora, el ruido ambiental es el sonido que no es deseado o es nocivo, el cual es generado por las actividades del hombre. Por lo general, este genera molestia [1].

6) *Fuentes de ruido ambiental*

Existen diferentes fuentes generadoras de ruido en el medio actualmente. Estas están relacionadas generalmente con los medios de transporte de personas y mercancías, además de la industria. Estos sistemas han facilitado la vida del hombre, sin embargo con el crecimiento de las grandes ciudades este se ha vuelto masivo ocasionando un gran aumento del nivel de ruido de las mismas [21]. Algunas de estas fuentes son:

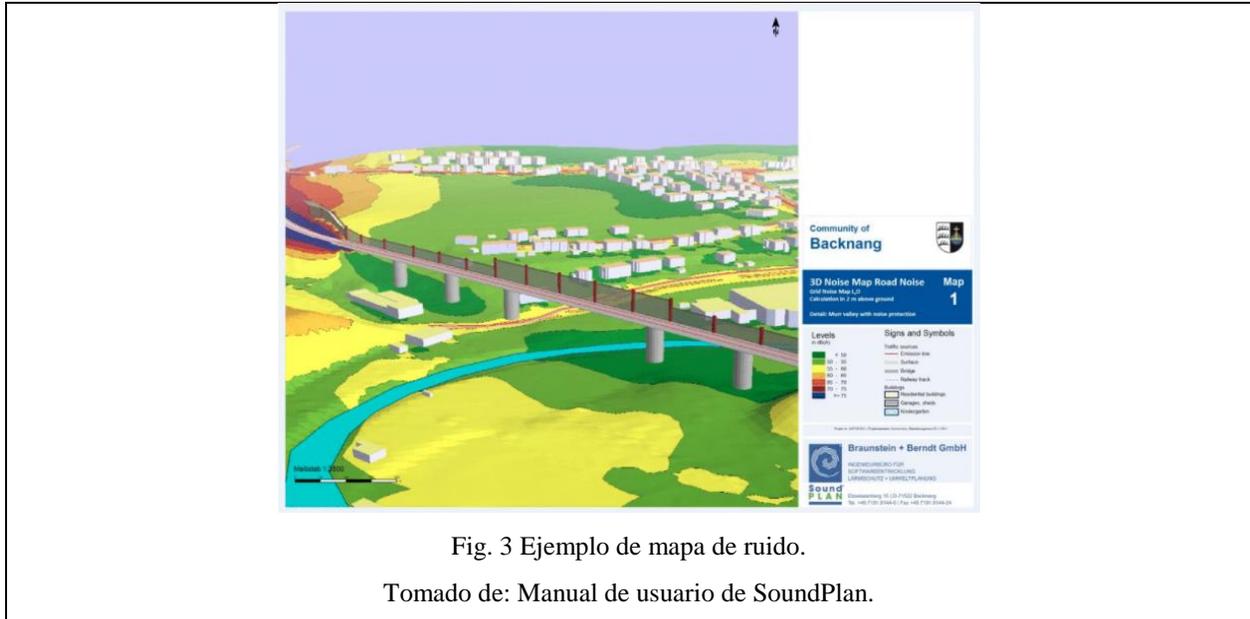
- **Tráfico Rodado:** Es la fuente más importante en las zonas urbanas alrededor del mundo. Dependen de factores como el motor, el rodamiento de las llantas, el pavimento, entre otros.
- **Ruido en aviones:** Es la segunda fuente generadora de ruido más importante, debido al rápido aumento del tráfico de este medio de transporte. El factor determinante del ruido generado por estos es el motor, y aunque se han realizado numerosos avances en reducción de ruido, este sigue siendo el mayor problema [21].

- **Ruido en trenes:** Este es generado principalmente por los elementos motrices y la interacción entre las ruedas y los carriles por los que se desplazan. El ruido producido por los trenes depende principalmente de la velocidad a la que transiten.
- **Ruido de industrias:** A pesar de que la mayoría de grandes industrias se encuentran a las afueras de las grandes ciudades, actualmente y debido al crecimiento de las mismas, las industrias han quedado inmersas en el ambiente urbano, provocando problemas de ruido que afectan a la población [21].

7) Mapas de ruido

Un mapa de ruido es la representación de los niveles de ruido que existen en un lugar período de tiempo determinado. Estos brindan información acerca del grado de ruido al que está expuesto un grupo de personas, y con base en esto se generan planes, programas y proyectos preventivos o correctivos de acuerdo al problema que se identifica [13].

En la actualidad existen modelos de cálculo los cuales permiten simular o predecir los niveles de ruido de una zona y su propagación en lugar de ser medidos [22]. Algunos de estos modelos son el modelo inglés (CoRTN procedure), el modelo alemán (RLS 90), el modelo italiano (C.N.R), el modelo francés (NMPB-Routes), entre otros [23]. En el presente proyecto se hace uso del modelo alemán, el cual ha sido probado en condiciones colombianas mostrando una gran exactitud si las variables de entrada son de buena calidad [24].



8) Modelo alemán: RLS 90

Es un modelo de cálculo efectivo que permite determinar el nivel de ruido de tráfico rodado. Este requiere como datos de entrada el promedio del flujo vehicular por hora (aforo), distinguiendo entre motos, vehículos ligeros y pesados, la velocidad promedio de los mismos, y la dimensión, geometría y tipo de vía.

En primer lugar, se calcula un promedio del nivel de presión sonora a una distancia de 25 metros ($L_{m,E}^{(25)}$) desde el centro de la vía. Este depende del número de vehículos (Q) y el porcentaje de vehículos (P) pesados cuyo peso es mayor de 2.8 toneladas. El cálculo de este promedio se puede observar en la ecuación 3.

$$L_{m,E}^{(25)} = 37.3 + 10 \log_{10}[Q(1 + 0.082P)] \quad (3)$$

Luego, como se muestra en la ecuación 4, se calculan las diferentes correcciones que se deben aplicar debido a factores que influyen cuando las condiciones no son ideales.

$$L_m = L_{m,E}^{(25)} + R_{SL} + R_{RS} + R_{RF} + R_E + R_{DA} + R_{GA} + R_{TB} \quad (4)$$

Donde:

- R_{SL} es la corrección por límite de velocidad.
- R_{RS} es la corrección dada por las superficies de rodadura.
- R_{RF} es la corrección por pendientes a lo largo de las calles.
- R_E es la corrección dada por la absorción de las superficies de las edificaciones.
- R_{DA} es el coeficiente de atenuación que considera la distancia del receptor y la absorción del aire.
- R_{GA} es el coeficiente de atenuación dado por las características atmosféricas del suelo.
- R_{TB} es el coeficiente de atenuación debido a la topografía y las diferencias de las edificaciones.

Para el cálculo de la corrección por velocidad se usa la ecuación 5.

$$R_{SL} = L_{P\omega} - 37.3 + 10 \log_{10} \left[\frac{100 + (10^{0.1D} - 1)P}{100 + 8.23P} \right] \quad (5)$$

Donde

$$L_{P\omega} = 27.7 + 10 \log_{10} [1 + (0.02v_{P\omega})^3] \quad (7)$$

$$L_{P\omega} = 23.1 + 12.5 \log_{10}(v_{L\omega}) \quad (8)$$

$$D = L_{L\omega} - L_{P\omega} \quad (9)$$

$v_{L\omega}$ y $v_{P\omega}$ es el límite de velocidad los vehículos ligeros y pesados respectivamente.

9) Indicadores de ruido

Los indicadores de ruido son magnitudes físicas que describen el ruido ambiental y están relacionadas directamente a efectos nocivos del mismo [1]. Entre estos están:

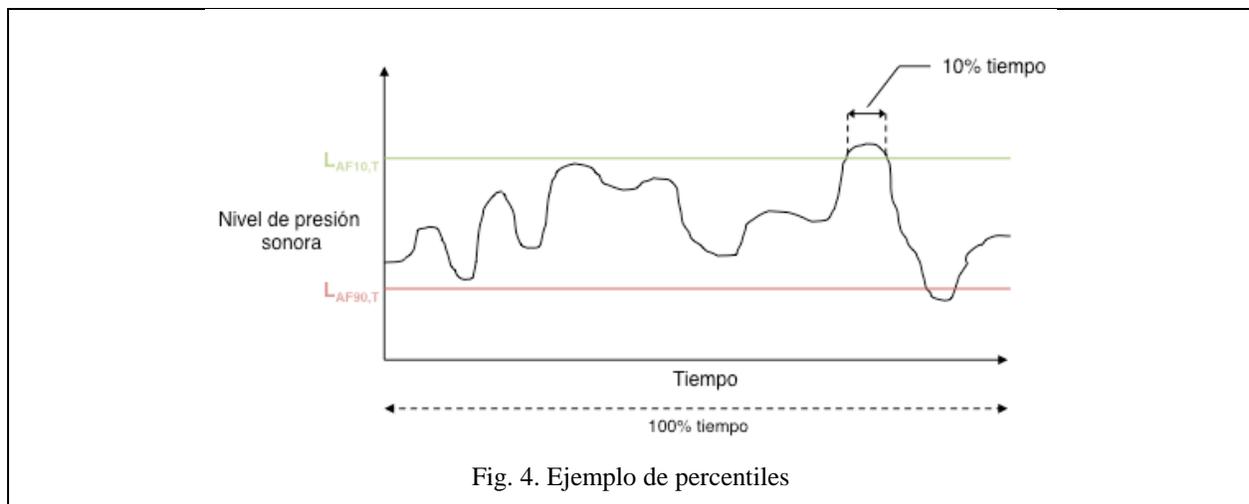
- **Nivel instantáneo (L_p):** Es el nivel de presión sonora el cual es registrado en un instante de tiempo de la medición.

$$L_p = 10 \log_{10} \left[\frac{p(t)^2}{p_0^2} \right] \quad (10)$$

- **Nivel sonoro continuo equivalente (L_{eq}):** Es la energía sonora en cierto período de tiempo.

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] (dB) \quad (11)$$

- **Percentiles (L_{10}, L_{50}, L_{90} , etc.):** Es el nivel sonoro que se supera cierto porcentaje del tiempo en el que se mide. Cuando menor es el porcentaje de tiempo mayor es el nivel que se debe superar. Es dado en decibeles.



- **Clima de ruido (CR):** Indica el cambio de ruido. Este ayuda a analizar la estabilidad de la medición.

$$CR = L_{10} - L_{90} \quad (12)$$

- **Nivel mínimo (L_{min}):** Es el nivel sonoro más bajo que se registra en el período de la medición.
- **Nivel máximo (L_{max}):** Es el mayor nivel registrado a lo largo de la medición.
- **Nivel de contaminación acústica (L_{NP}):** Da información de la energía del ruido y su fluctuación.

$$L_{NP} = L_{eq} + L_{10} - L_{90} \quad (13)$$

- **Nivel equivalente día-tarde-noche (L_{den}):** Es la integración de los niveles sonoros los cuales son registrados durante 24 horas. Este es ampliamente usado en la comunidad Europea.

$$L_{den} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{24} \left[12 \left(10^{\frac{L_{day}}{10}} \right) + 4 \left(10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} \right) + 8 \left(10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \right] \right\} (dB) \quad (12)$$

Donde:

L_{day} : Nivel sonoro integrado durante las 12 horas que componen el día.

$L_{evening}$: Nivel sonoro integrado durante las 4 horas que componen la tarde.

L_{night} : Nivel sonoro integrado durante las 8 horas que componen la noche.

10) Software de predicción de tráfico: SoundPlan

Para la realización de los mapas de predicción de tráfico un software comúnmente utilizado es SoundPLAN. Producido por SoundPLAN International LLC y Braunstein + Berndt GmbH. Es un software el cual ofrece una gran flexibilidad de modelos de evaluación de nivel de ruido y contaminación auditiva. Su rapidez y exactitud se han desarrollado al punto que predicciones de ruido ciudades completas pueden ser realizadas [25].



Fig. 5. Pantalla inicial del software de predicción SoundPlan

B. Medidas de posición o de tendencia central

Las medidas de posición o de tendencia central son usadas para describir y resumir por medio de un solo número la posición de un valor en la variable, representando el conjunto de valores estudiados [26],[27].

1) Media aritmética simple

Es el cociente que se obtiene al realizar la división de la suma de los valores de la variable por el número de observaciones [27].

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (13)$$

Donde:

- n es el número de observaciones
- \bar{x} es la media de la muestra
- x_i son los valores de la variable en la muestra

2) *Mediana*

Es el valor central de la muestra. Este es el valor que supera la mitad de las observaciones pero a su vez también es superado por la otra mitad de las observaciones. Es simbolizada por M_E [27]

3) *Moda*

Es el valor del atributo que se presenta mayor cantidad de veces en la muestra. Si solo un valor de la variable tiene máxima frecuencia se dice que la distribución es unimodal. Si dos atributos presentan máxima frecuencia, la distribución se denomina bimodal y si son más de dos se le llama distribución multimodal [27]

C. *Correlación de datos*

La correlación de datos es la herramienta estadística que permite estudiar y evaluar el comportamiento de dos variables y determinar si estas están relacionadas [26]. Además, esta mide la dependencia de una variable con respecto a otra. La correlación puede ser:

- **Simple:** Se estudia la dependencia entre solo dos variables.
- **Múltiple:** Más de dos variables son estudiadas y evaluadas.
- **Parcial:** Se incluye la influencia de variables externas las cuales no se consideran al calcular los coeficientes.

D. *Tráfico vehicular*

El tráfico vehicular es el flujo o desplazamiento de vehículos por una vía pública o privada abierta al público [28]. Con el crecimiento de las ciudades la demanda de transporte ha aumentado lo que ha causado aumento en el tráfico vehicular, esto genera congestiones y demoras debido a accidentes y al gran acumulamiento de vehículos [29].

1) Brecha o GAP

La brecha o el GAP es el tiempo transcurrido entre el paso por cierto punto de una vía desde el extremo trasero de un vehículo al delantero del siguiente [30]. Este tiempo equivale a la separación que hay entre vehículos desde la parte trasera del primero hasta la parte delantera del segundo, como se mencionó anteriormente.

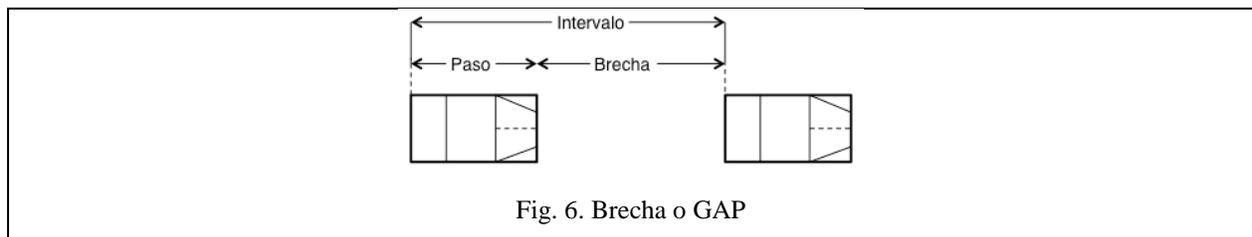


Fig. 6. Brecha o GAP

2) Aforo vehicular

El aforo vehicular es el conteo de vehículos que transitan en un lugar determinado. Este ayuda a determinar la demanda de tráfico de las vías y la intensidad vehicular.

3) Métodos para realizar aforos vehiculares

- **Manual:** Son los más costosos. El observador se ubica en una vía determinada y cuenta la cantidad de vehículos que transitan a través de ella. Este método permite diferenciar los tipos de vehículos que circulan por la vía.
- **Automático:** Este método se basa en mecanismos automáticos que tienen la capacidad de detectar y contabilizar el paso de los vehículos, para luego almacenar este dato.
- **Móvil:** Este se realiza desde un vehículo en movimiento integrado al flujo vehicular. Normalmente se usa este método cuando se necesita determinar el aforo en un tramo determinado.
- **Fotográfico:** Se realiza un registro fotográfico de una zona determinada desde una perspectiva aérea [31].

E. Sistemas colaborativos

Los softwares o sistemas colaborativos son herramientas computacionales que permiten a los usuarios trabajar en conjunto de forma virtual compartiendo información de manera ordenada. Los sistemas colaborativos permiten ahorrar tiempo pues no es necesario el desplazamiento físico para realizar diferentes actividades que requieren de diferentes personas, permiten mejor control de las actividades de los miembros del grupo de trabajo, entre otras grandes ventajas [32].

1) Sistemas colaborativos de acuerdo a Tiempo y Espacialidad

- **Tiempo:** Pueden soportar aplicaciones en tiempo real (sincrónicos) o no (asincrónicos).
- **Espacio:** Están en el mismo lugar o en forma distribuida.

2) Funciones de los sistemas colaborativos

- **Comunicación:** Ésta es la función más importante, pues a través de estos la información es compartida.
- **Colaboración:** La colaboración es indispensable para resolver problemas de las actividades realizadas.
- **Coordinación:** Asegura que se esté trabajando eficientemente y en conjunto [32].

F. Plan de ordenamiento territorial

El plan de ordenamiento territorial, por sus siglas POT, es una herramienta técnica y normativa para organizar el territorio municipal y/o distrital. Este sirve para priorizar inversiones en el territorio y define dónde se pueden realizar construcciones de acuerdo al tipo de mobiliario que se ubicará en la zona [33].

1) Plan de ordenamiento territorial de la ciudad de Medellín

La ciudad de Medellín cuenta con un plan de ordenamiento territorial en el cual se definen no solo los temas respecto a construcción sino también los que tienen que ver con movilidad. En este caso se estará enfocado en el segundo ámbito [33].

A continuación se define la tipología de vías públicas de la ciudad:

- **Vía arteria:** son vías con prelación a las demás vías respecto al tráfico, con excepción de la vía férrea y las autopistas.
- **Vía colector:** es la vía que conecta y distribuye el tráfico hacia o desde las vías arterias a diferentes zonas de la ciudad.
- **Vía de servicio:** este tipo de vía tiene como función facilitar el acceso directo a las propiedades o actividades adyacentes. En estas se restringe la velocidad y el paso de vehículos pesados.

VI. METODOLOGÍA

El presente capítulo da cuenta de la metodología sugerida para predecir el nivel de ruido basado en datos obtenidos a partir de plataformas colaborativas. La Figura 7 muestra el flujo de trabajo implementado para este propósito. Este consiste en cuatro etapas: la recolección de la información (in situ), el procesamiento de la información, la estimación del flujo vehicular y la predicción de ruido, respectivamente. La primera etapa, la cual corresponde a la recolección de los datos, se lleva a cabo seleccionando áreas de referencia y realizando un conteo vehicular en diferentes vías. Al mismo tiempo, se toman mediciones de ruido ambiental basadas en los lineamientos dados por la norma nacional Colombia [34].

Los datos recolectados corresponden a diferentes vías y períodos del día. Con el fin de obtener un valor representativo del aforo vehicular, se realiza una clasificación y promedio de los datos. Esta información es usada para estimar la distribución de tráfico de acuerdo al tipo de vía según la

clasificación dada por el Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad. Este procedimiento corresponde a la segunda etapa de la metodología.

En la tercera etapa, se implementa un modelo predictivo el cual estima el flujo de tráfico para cada tipo de vía. Los datos de entrada requeridos para el modelo son la velocidad en la vía, su largo, su clasificación de acuerdo al tipo de vía y el número de carriles que componen. Esta información es tomada de la plataforma colaborativa de Google Maps. Por otro lado, de acuerdo a la velocidad se asigna un valor determinado de GAP de acuerdo a [30] con base en los valores típicos de las brechas en intersecciones. El modelo estima el total de vehículos que pueden llenar la calle asignando una área específica a cada tipo de vehículo (moto, ligero y pesado). De acuerdo a estas áreas se halla la cantidad de motos, vehículos ligeros y pesados caben en el largo y ancho de la vía. Luego, de acuerdo al tipo de vía y a la distribución hallada con anterioridad, los valores del número de vehículos son multiplicados por el porcentaje típico de vehículos hallado en la etapa dos. Finalmente, el flujo de tráfico es calculado para un intervalo de una hora usando la información de velocidad. La última etapa consiste en almacenar los datos de aforo vehicular en una base de datos geográfica para ser usados como entrada en los softwares de predicción de ruido.

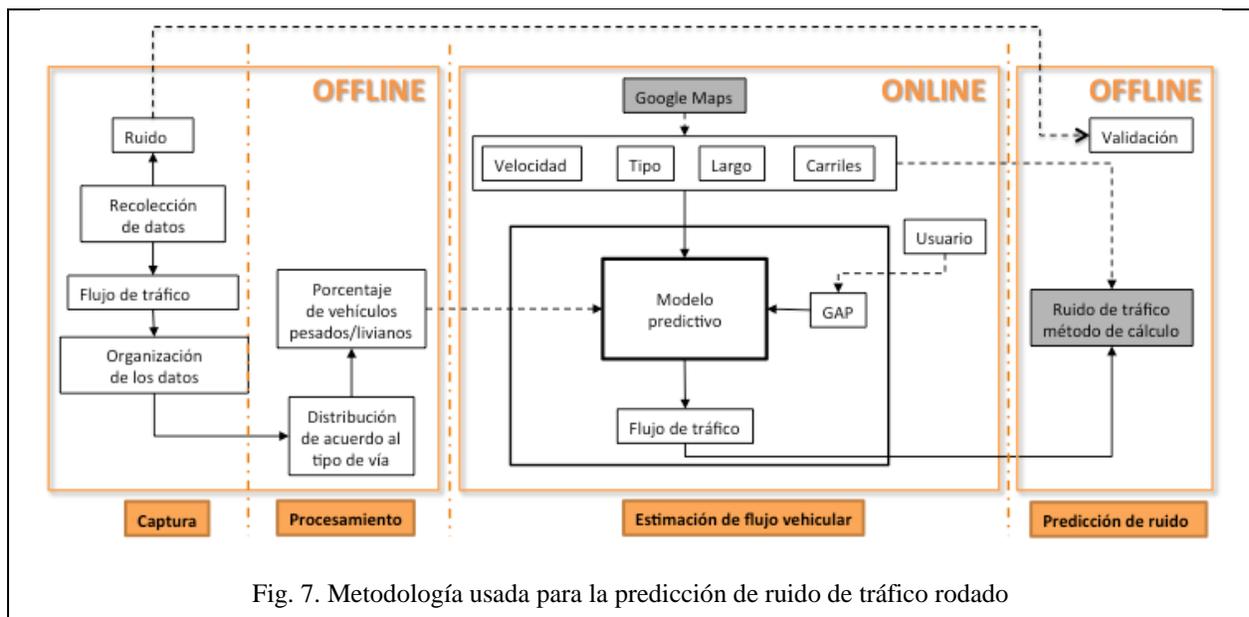
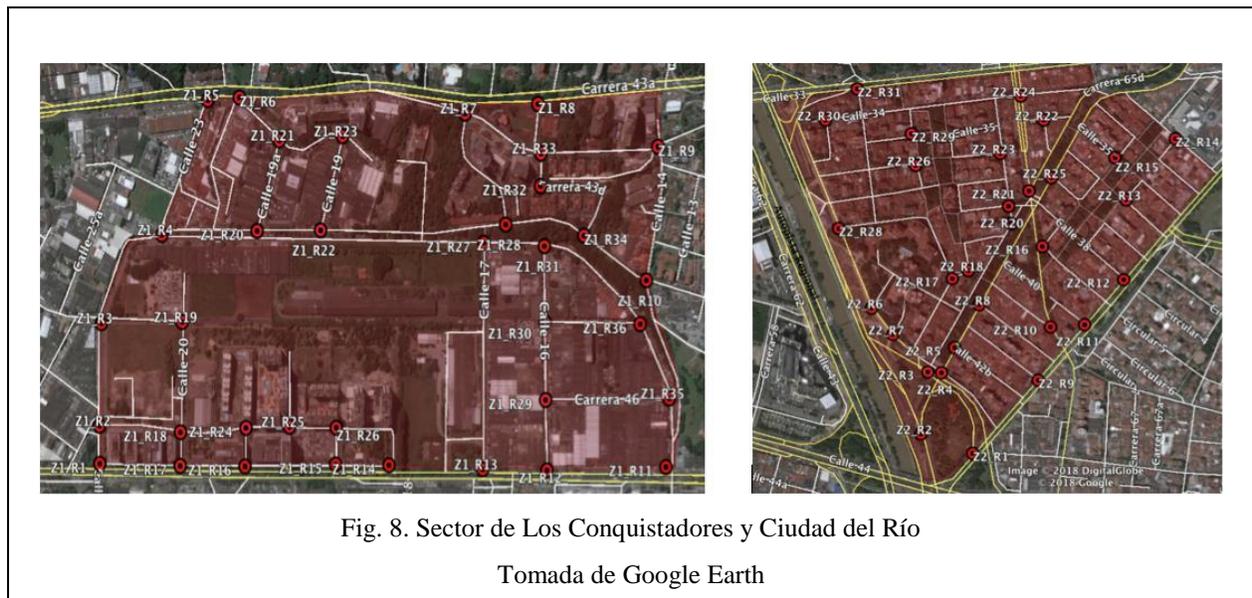


Fig. 7. Metodología usada para la predicción de ruido de tráfico rodado

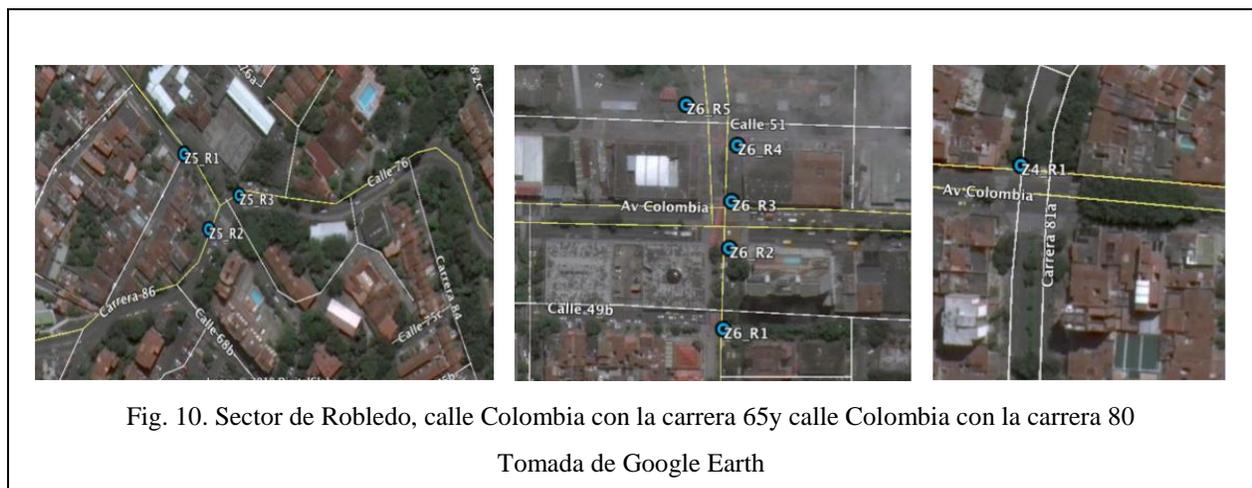
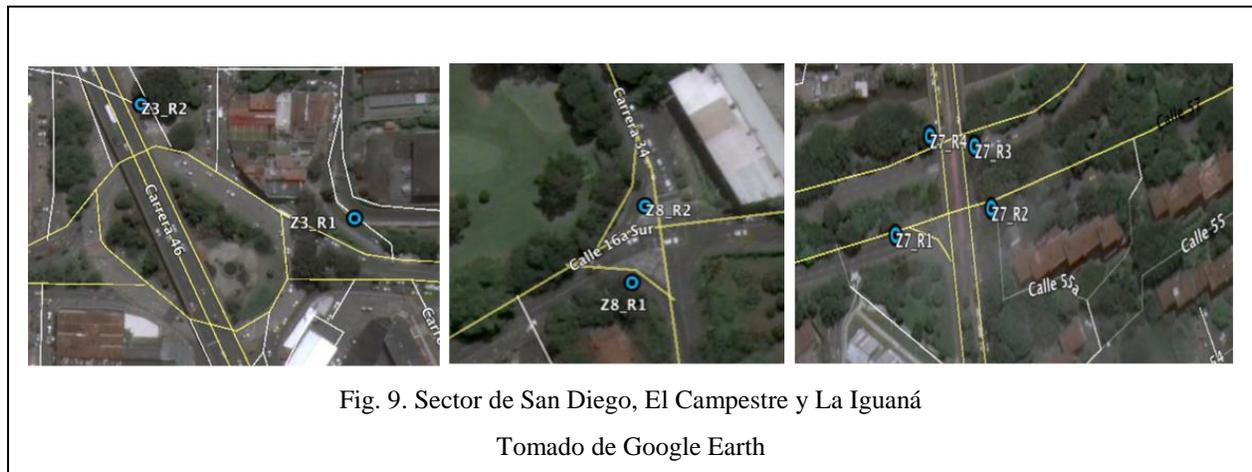
A. Recolección de información

Se tienen ocho (8) zonas de estudio en la ciudad de Medellín las cuales son aforadas siguiendo dos metodologías de acuerdo a los diferentes entes que lo realizan. Las dos primeras zonas mostradas en la figura 8, corresponden al sector de Conquistadores y Ciudad del Río. Estas son aforadas por practicantes de la Universidad de San Buenaventura, los cuales realizan mediciones del nivel de presión sonora in situ al tiempo que se toma el aforo vehicular. Se utilizan herramientas como videos en las calles más concurridas de la zona para luego realizar el conteo de los vehículos y tener más precisión. Además, estos realizan capturas de pantalla de la aplicación móvil "Google Maps" cada cinco minutos, con el fin de obtener datos georreferenciados del flujo de tráfico de la zona a la hora de la toma de aforo.



Por otro lado, en las figuras 9 y 10 se ilustran las zonas aforadas por la Secretaría de Movilidad de Medellín. Estas zonas comprenden la rotonda de San Diego, el sector de El Campestre, la calle 55

con carrera 65 aledaña a la quebrada La Iguaná, Robledo, la calle Colombia con la carrera 65 y la misma con la carrera 80. Los datos de aforo son proporcionados por el ente regulador de la movilidad de la ciudad. Sin embargo, no se tiene información de flujo de tráfico tomado en tiempo real. Es por esto que se procede a tomar los datos necesarios de la plataforma de Google Maps la cual brinda los datos habituales de la zona según el momento del día que se requiera. La información de aforo se toma aproximadamente cada 15 minutos en cada caso.



Las coordenadas de los puntos en que se toma el aforo se muestran en la tabla I. En esta se observa el nombre con el que se hace referencia a los puntos Zn_ Rm (donde n hace referencia a la zona aforada y m es el punto específico de aforo). Además se observa la latitud y longitud en la que se

encuentra cada punto dado en coordenadas sexagesimales. Las cuales se componen de grados, minutos y segundos.

TABLA I. COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE AFORO EN EL SECTOR DE LOS CONQUISTADORES

Etiqueta	Latitud	Longitud
Z2_ R1	6°14'50.68"N	75°34'53.91"O
Z2_ R2	6°14'48.97"N	75°34'50.09"O
Z2_ R3	6°14'44.34"N	75°34'50.94"O
Z2_ R4	6°14'44.47"N	75°34'51.97"O
Z2_ R5	6°14'42.66"N	75°34'53.11"O
Z2_ R6	6°14'39.23"N	75°34'47.14"O
Z2_ R7	6°14'41.31"N	75°34'48.55"O
Z2_ R8	6°14'39.54"N	75°34'55.19"O
Z2_ R9	6°14'45.52"N	75°34'59.26"O
Z2_ R10	6°14'41.58"N	75°35'0.47"O
Z2_ R11	6°14'41.59"N	75°35'3.05"O
Z2_ R12	6°14'38.43"N	75°35'6.23"O
Z2_ R13	6°14'32.46"N	75°35'6.82"O
Z2_ R14	6°14'28.18"N	75°35'10.84"O
Z2_ R15	6°14'29.26"N	75°35'6.22"O
Z2_ R16	6°14'35.50"N	75°35'0.29"O
Z2_ R17	6°14'37.44"N	75°34'53.34"O
Z2_ R18	6°14'36.91"N	75°34'54.57"O
Z2_ R19	6°14'33.62"N	75°34'58.06"O
Z2_ R20	6°14'32.30"N	75°34'57.96"O
Z2_ R21	6°14'31.27"N	75°34'59.58"O
Z2_ R22	6°14'26.07"N	75°35'1.05"O
Z2_ R23	6°14'28.33"N	75°34'57.62"O
Z2_ R24	6°14'24.13"N	75°34'59.45"O
Z2_ R25	6°14'30.41"N	75°35'1.33"O
Z2_ R26	6°14'28.76"N	75°34'51.17"O

Z2_ R27	6°14'30.88"N	75°34'47.72"O
Z2_ R28	6°14'33.07"N	75°34'45.04"O
Z2_ R29	6°14'26.37"N	75°34'51.02"O
Z2_ R30	6°14'24.90"N	75°34'44.63"O
Z2_ R31	6°14'22.77"N	75°34'47.23"O

B. Organización de la información

La información del número de vehículos que se tiene viene dada cada 15 minutos y 30 minutos en cada punto de aforo. Esto se puede apreciar en la tabla II donde a modo de ejemplo se muestra que se mide el día jueves 3 de noviembre de 2016 en sentido NORTE OCCIDENTE. Se afora la intersección de la calle 76 con la carrera 85 la cual es de tipo colector. Además, es posible observar el número de carros, motos, vehículos pesados y total de vehículos cada quince minutos desde las 6 am hasta las 9 am, y de 4 pm a 8 pm. Estas horas corresponden a los intervalos de tiempo en los cuales se espera que exista un mayor flujo vehicular.

TABLA II. EJEMPLO DE LOS DATOS DE AFORO TOMADOS EN CAMPO ORGANIZADOS

NORTE				
Clasificación POT			Vía Colectora	
Fecha:	3/11/16	Intersección	Calle 76 – Carrera 65	
Día:	JUEVES	Sentido:	NORTE – OCCIDENTE	
PERÍODO	AUTOS	MOTOS	VEHÍCULOS PESADOS	TOTAL VEHÍCULOS
06:00 – 06:15	7	2	9	18
06:15 – 06:30	12	4	11	27
06:30 – 06:45	15	2	8	25
06:45 – 07:00	4	1	6	10
07:00 – 07:15	6	3	8	17
07:15 – 07:30	4	1	10	15

07:30 – 07:45	4	1	7	12
07:45 – 08:00	5	1	7	13
08:00 – 08:15	2	5	7	14
08:15 – 08:30	5	3	10	18
08:30 – 08:45	2	1	6	9
08:45 – 09:00	5	3	8	16
09:00 – 09:15				
16:00 – 16:15	2	5	9	16
16:15 – 16:30	8	3	7	18
16:30 – 16:45	9	5	9	23
16:45 – 17:00	10	4	9	23
17:00 – 17:15	4	0	7	11
17:15 – 17:30	4	7	9	20
17:30 – 17:45	6	3	6	15
17:45 – 18:00	7	0	4	11
18:00 – 18:15	16	4	11	31
18:15 – 18:30	7	3	7	17
18:30 – 18:45	7	0	4	11
18:45 – 19:00	13	8	6	27
19:00 – 19:15	6	5	6	17
19:15 – 19:30	8	3	9	20
19:30 – 19:45	6	2	11	19
19:45 – 20:00	10	4	8	22

Para obtener un valor representativo de la cantidad de vehículos en cada vía aforada, se realiza un promedio aritmético de los valores en cada intervalo de tiempo. Como ejemplo, en la tabla III se puede observar el mismo tipo de información del encabezado de la tabla anterior. Luego se aprecia el promedio del total de vehículos, de porcentaje de vehículos pesados, de la cantidad de motos y carros de la vía aforada. Por último, está la moda del flujo de tráfico con su código de color, al cual se hace referencia en el marco teórico. Este procedimiento se realiza para cada uno de los puntos de aforo en cada una de las zonas.

TABLA III. EJEMPLO DE LOS DATOS PROMEDIADOS PARA CADA UNO DE LOS PUNTOS AFORADOS

Clasificación POT			Vía Arteria Principal	Carrera 65
			Vía Arteria Principal	Calle 54
Fecha:	03/11/2016	Intersección:	Carrera 65 - Calle 54	
Día:	JUEVES	Sentido:	Oriente Sur	
Total vehículos	Porcentaje pesados	Motos	Carros	Flujo de tráfico
55,92	3,19	32	23	2

C. Análisis de la información obtenida por tipo de vía

Teniendo la información depurada y promediada para cada uno de los puntos aforados, se realiza un análisis de la misma para observar su coherencia. Sin embargo, al realizar este proceso llama la atención que los valores obtenidos no tienen relación aparente. Se muestran las tablas IV y V en las cuales se tienen dos puntos de aforo en el mismo sector y su tipología de vía es la misma.

TABLA IV. PUNTO DE AFORO EN EL SECTOR DE LA IGUANÁ (VÍA ARTERIA)

Clasificación POT			Vía Arteria Principal	Carrera 65
			Vía Arteria Principal	Calle 55
Fecha:	03/11/2016	Intersección:	Carrera 65 – Calle 55	
Día:	JUEVES	Sentido:	Occidente – Sur	
Total vehículos	Porcentaje pesados	Motos	Carros	Flujo de tráfico
3,20	4,38	2	1	2

TABLA V. PUNTO DE AFORO EN EL SECTOR DE LA IGUANÁ (VÍA ARTERIA)

Clasificación POT			Vía Arteria Principal	Carrera 65
--------------------------	--	--	-----------------------	------------

			Vía Arteria Principal	Calle 54
			Carrera 65 – Calle 54	
Fecha:	03/11/2016	Intersección:	Carrera 65 – Calle 54	
Día:	JUEVES	Sentido:	Oriente – Oriente	
Total vehículos	Porcentaje pesados	Motos	Carros	Flujo de tráfico
17,02	5,29	9	7	1

Es posible observar que los valores de la tabla IV para el total de vehículos y el porcentaje de vehículos pesados es 3.2 y 4.38% respectivamente, y su flujo vehicular es color naranja que simboliza un flujo vehicular moderado. Mientras que para la tabla V, se tienen 17 número de vehículos y el porcentaje de vehículos pesados es de 5.29%. Además, cabe resaltar que el flujo vehicular es color verde simbolizando una velocidad más alta. Estos resultados no son congruentes, pues se espera que a mayor número de vehículos y a mayor porcentaje de vehículos pesados, el flujo de tráfico debería ser más lento, teniendo en cuenta que son el mismo tipo de vía y los puntos se encuentran ubicados en el mismo sector. Este tipo de incongruencia se presenta en la mayoría de los datos estudiados. Por lo anterior, se descarta la posibilidad de caracterizar los tipos de vía con la información suministrada.

D. Obtención de la distribución de vehículos por tipo de vía

A pesar de que los datos de flujo vehicular no fueron concluyentes, con la información que se tiene es posible determinar la distribución de los tipos vehículos (ligeros, motos y pesados) por tipología de vía, es decir, se obtienen datos que los caracterizan de acuerdo a su comportamiento habitual.

Para esto, se hace un promedio temporal de los datos de aforo en cada punto para obtener un valor representativo de los mismos. Luego, se agrupan los puntos según su tipología de vía y se realiza un promedio del número total de vehículos, carros y motos, y del porcentaje de vehículos pesados. Luego, con el total de vehículos se obtiene el porcentaje de carros y motos y de esta forma se obtiene la distribución de la cantidad de vehículos para cada tipo de vía mostrada en la tabla VI.

TABLA VI. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE VEHÍCULOS POR TIPO DE VÍA

TIPO DE VÍA	%Motos	%Carros	%Pesados
Promedio Vía Arteria Principal	49%	45%	9%
Promedio Vía Colectora	39%	52%	6%
Vía de Servicio	27%	69%	4%
Vía Arteria Menor	35%	62%	3%

E. Propuesta de modelo analítico para la estimación de flujo vehicular

Debido a que los datos asociados a flujo de tráfico no fueron concluyentes, se propone otra metodología para hallar el número de vehículos en una vía de acuerdo a su clasificación. Esta consiste en utilizar la información de distribución de la cantidad de vehículos para cada tipo de vía.

Para realizar la función, es necesario determinar el número de vehículos que pueden ser acomodados en un carril de acuerdo a su largo, ancho, y el espacio que hay entre vehículos (gap o brecha). Uno de los datos necesario para la función, es el ancho de la vía según su tipo. Para este, se miden 10 carriles para cada clasificación con la herramienta geoespacial de medición de Google Earth. Posteriormente se realizó un promedio de las 10 mediciones, dando como resultado un valor del ancho del carril para cada una de las vías. Los datos obtenidos se muestran a continuación en la tabla VII.

TABLA VII. MEDIDA DE LOS CARRILES DE ACUERDO AL TIPOLOGÍA DE VÍA

Vía Arteria Principal		Vía Arteria Menor	
Calle medida	Medida carril (m)	Calle medida	Medida carril (m)
Calle 33	3.29	Calle 47d	3.53
Calle 30	3.24	Avenida De Greiff	3.90
Carrera 76	2.84	Avenida Bolivariana	3.21
Avenida 80	3.34	Transversal 39b	4.15
Carrera 65	3.25	Carrera 69b	3.73
Avenida Guayabal	3.25	Calle 3	3.82
Avenida El Poblado	3.33	Calle 4b	3.22

Calle 10	3.19	Calle 9 sur	3.14
Avenida Colombia	3.79	Diagonal 29d	2.91
Calle 33	3.29	Carrera 40	2.63
Promedio	3.3	Promedio	3.4
Vía Colectora		Vía de Servicio	
Calle medida	Medida carril (m)	Calle medida	Medida carril (m)
Carrera 92	5.16	Calle 16	2.65
Calle 35	3.59	Calle 20	2.86
Carrera 70	3.61	Carrera 44	3.06
Carrera 78	3.57	Calle 19 a	2.98
Calle 51	5.14	Carrera 64b	4.50
Calle 14	3.29	Calle 42c	3.68
Calle 4	4.30	Calle 38	2.53
Calle 43c	3.38	Carrera 66	2.58
Carrera 43f	3.92	Carrera 63b	3.53
Calle 24	5.14	Calle 42 a	3.49
Promedio	4.1	Promedio	3.2

Por otro lado, también es necesario la medida estándar de cada uno de los vehículos. Para esto se toman los valores más pequeños y comunes que se encuentran, de tal forma que se tenga el mayor número de vehículos en la vía generando la mayor cantidad de ruido (escenario crítico). En el caso de los automóviles, se toma como referencia la medida de un Spark GT. Para las motos, se toman dos referencias: BWS 125 y Crypton. Estas medidas se promedian para obtener solo un dato de ancho y largo. Por último se consultan tres referencias de la marca Marcopolo de vehículos pesados las cuales son Microsenior URBANO, Ideale 660 y New Senior URBANO. Luego, se realiza el mismo procedimiento que se hizo con las motos para obtener un solo valor de las medidas. Estos datos se observan en la tabla VIII.

Teniendo estos valores, se procede a hallar la cantidad de vehículos que caben en un tramo de vía. Para esto se calcula independientemente cuántas motos, carros y vehículos pesados se pueden

acomodar en el largo que mide el tramo. Esto teniendo en cuenta la brecha o gap entre vehículos el cual es sumado al largo de estos.

TABLA VIII. DIMENSIONES DE LOS VEHÍCULOS PROMEDIADOS

Tipo de vehículo	Referencia	Largo (m)	Ancho (m)
Carro	Spark GT 2014	3,64	1,8
	BWS 125	1,91	0,77
Moto	Crypton	1,93	0,66
	Promedio	1,9	0,7
Pesados	Microsenior URBANO	7,15	2,05
	Ideale 660	10	2,47
	New Senior URBANO	10,18	2,4
	Promedio	9,1	2,3

Obteniendo la cantidad de motos, carros y vehículos pesados que se pueden acomodar en un tramo determinado, esta se multiplica por el porcentaje de vehículos característicos de cada tipo de vía hallados de acuerdo a la distribución de tráfico mencionada. Finalmente, se suma el resultado obtenido de los tres tipos de vehículos y así obtener en número total de vehículos.

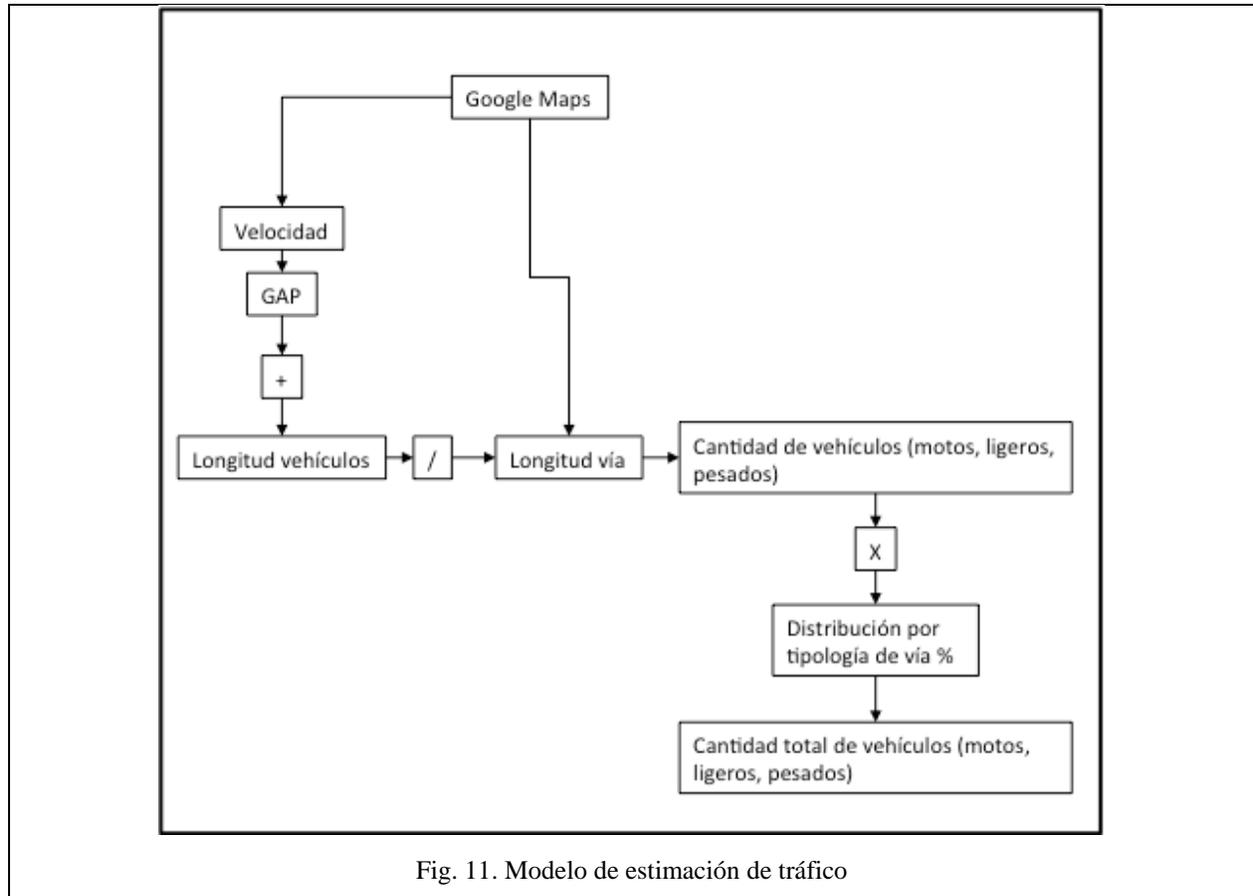


Fig. 11. Modelo de estimación de tráfico

VII. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se presentarán los resultados obtenidos al aplicar el modelo de predicción de tráfico propuesto en dos zonas de la ciudad de Medellín a partir de la metodología propuesta en el capítulo anterior. En la siguiente ecuación se muestra el modelo analítico propuesto el cual fue desarrollado a partir de los datos recolectados y analizados. Además se evalúa el efecto en el nivel de emisión de las fuentes vehicular al variar diversos factores que afectan el mismo y su relación con información de ruido medida *in situ*.

$$T_x = \frac{1}{\bar{\alpha}} \left[\frac{y_{TX}}{y_{vía}} \%D_x (\#carriles) \right]$$

$$y_{TX} = y_x + gap \quad (14)$$

$$T_{vehículos} = T_{Motocicletas} + T_{Livianos} + T_{Pesados}$$

Donde

X es el tipo de vehículos (motocicletas, vehículos livianos o pesados)

y_x es el largo del vehículo

$y_{vía}$ es el largo de la vía a estudiar

T_x es la cantidad total de vehículos de acuerdo a su tipología

$\%D_x$ es el porcentaje de distribución de los vehículos de acuerdo al tipo de vía

$\bar{\alpha}$ es el factor de corrección de acuerdo al tipo de vía y a la hora estudiada (pico o valle)

A. Estimación del flujo vehicular de acuerdo al modelo analítico propuesto

En primer lugar, el modelo fue aplicado sin el factor de corrección. Sin embargo, los datos obtenidos estaban muy alejados de los datos tomados manualmente en campo, debido a que el modelo asumía que en todo momento existe tráfico vehicular, lo cual no es un escenario realista. El aforo manual si toman en cuenta que hay momentos en los cuales no transitan vehículos por ciertas zonas. Entonces la solución propuesta es calcular un factor de corrección el cual se obtiene dividiendo el número de vehículos estimado a partir del primer acercamiento al modelo, con el número de vehículos aforado en campo. Luego, este valor se promedia por tipo de vía y según el período del día (hora pico o valle) en el que se requiere la información. De esta manera es obtenido el factor de corrección $\bar{\alpha}$ que considera el comportamiento habitual de las vías estudiadas. Este factor se muestra en la tabla IX.

TABLA IX. FACTOR DE CORRECCIÓN

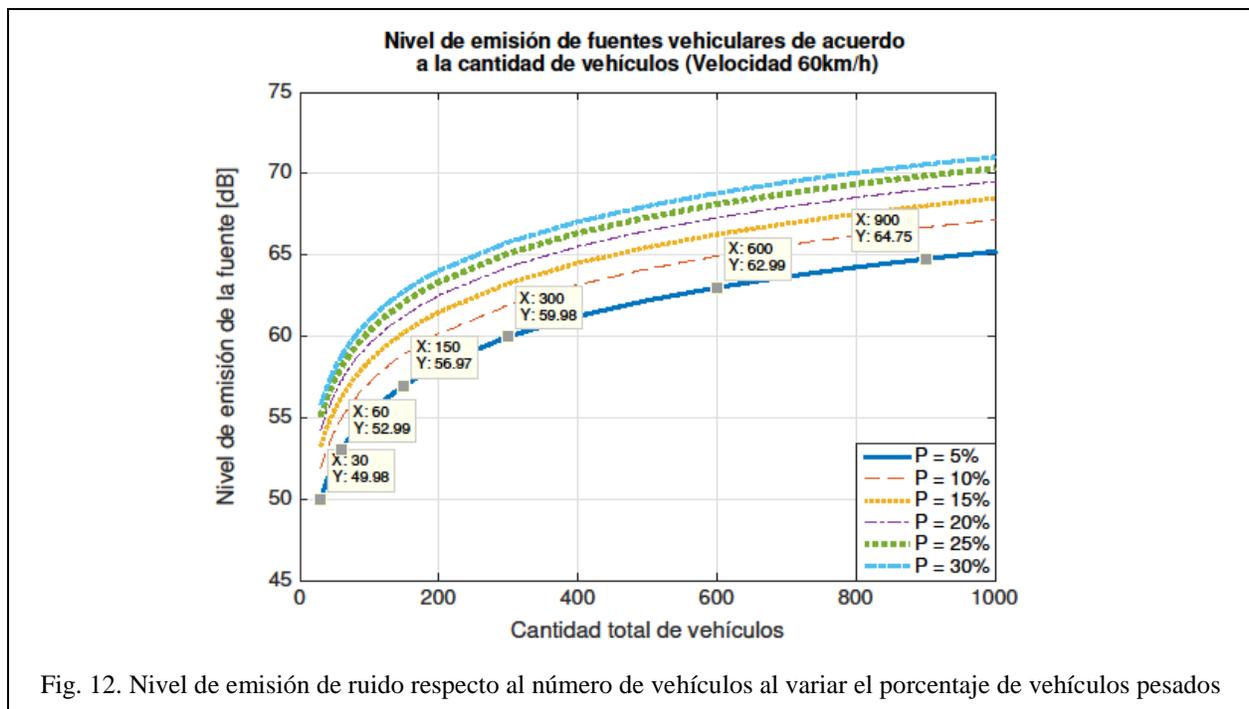
Tipo de vía	Ciudad Pico	Ciudad Valle	Conquistadores		Promedio	
			Pico	valle	Pico	Valle
Arteria	1,67	1,74	1,44	1,70	1,55	1,72
Colectora	2,77	2,48	3,47	3,22	3,12	2,85
Servicio	4,13	3,88	16,88	17,06	10,51	10,47

B. Análisis del impacto del flujo vehicular en la emisión de ruido

Para observar la sensibilidad que tiene el nivel de ruido generado por el tráfico rodado con respecto al aforo vehicular se realiza el cálculo de emisión de ruido de los vehículos a partir del modelo de cálculo alemán (RLS 90) [23]. A partir de los resultados obtenidos, se analiza el comportamiento de los niveles de la fuente al aumentar tanto el número total de vehículos como el porcentaje de vehículos pesados. En la figura 12 se aprecia que a pesar de aumentar el porcentaje de vehículos pesados el comportamiento del nivel de ruido generado por las fuentes se mantiene y se observa un aumento exponencial en el mismo.

Por otro lado, un criterio de evaluación del ruido ambiental es el aumento de 3dB en el mismo. En la gráfica se observa que para apreciar ese aumento en el nivel, el número de vehículos debe ser duplicado. El cambio se hace menos significativo al tener un mayor número de vehículos debido a que para observar ese cambio se necesita un aforo mucho mayor, lo que hace que el modelo tenga un margen de error más amplio, al aumentar el total de vehículos. Por ejemplo, al observar la figura 12, es posible identificar que para 30 vehículos el nivel de emisión es 49,9 dB. Cuando la cantidad de tráfico aumenta a 60 vehículos, la emisión de ruido es 52,9 dB. Ahora para el caso de 300 vehículos, es necesario duplicar este valor llegando a 600 vehículos para obtener el aumento de 3 dB. Esto implica que el modelo tiene una mayor tolerancia de error en las vías que tienen un alto aforo vehicular.

Por último, de la gráfica se puede observar que al variar de 5% el porcentaje de vehículos pesados el cambio del nivel de ruido es de apenas 1dB lo cual es un cambio poco significativo.



En las figuras 13, 14, 15 y 16, se muestra el nivel de emisión de acuerdo al número de vehículos variando la velocidad entre 30 y 80 km/h para los diferentes tipos de vía (vía Arteria principal, vía

de Servicio, vía Colectora y vía Arteria Menor). Se aprecia cómo el comportamiento exponencial mencionado anteriormente se mantiene a pesar que sean diferentes tipos de vía. Sin embargo se observa que el nivel de ruido emitido cambia para cada tipo de vía, debido a que cada clasificación tiene asignado un determinado porcentaje de vehículos pesados el cual se halla al determinar la distribución de flujo vehicular en cada una de ellas.

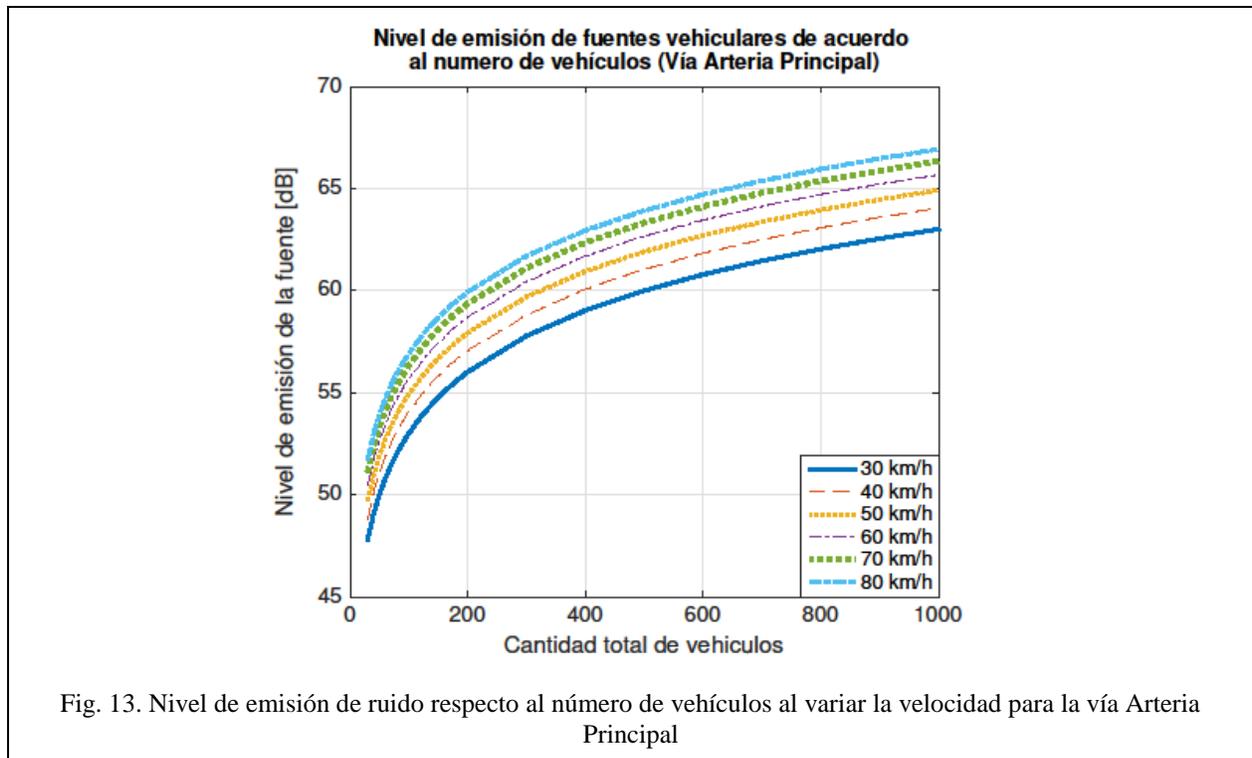


Fig. 13. Nivel de emisión de ruido respecto al número de vehículos al variar la velocidad para la vía Arteria Principal

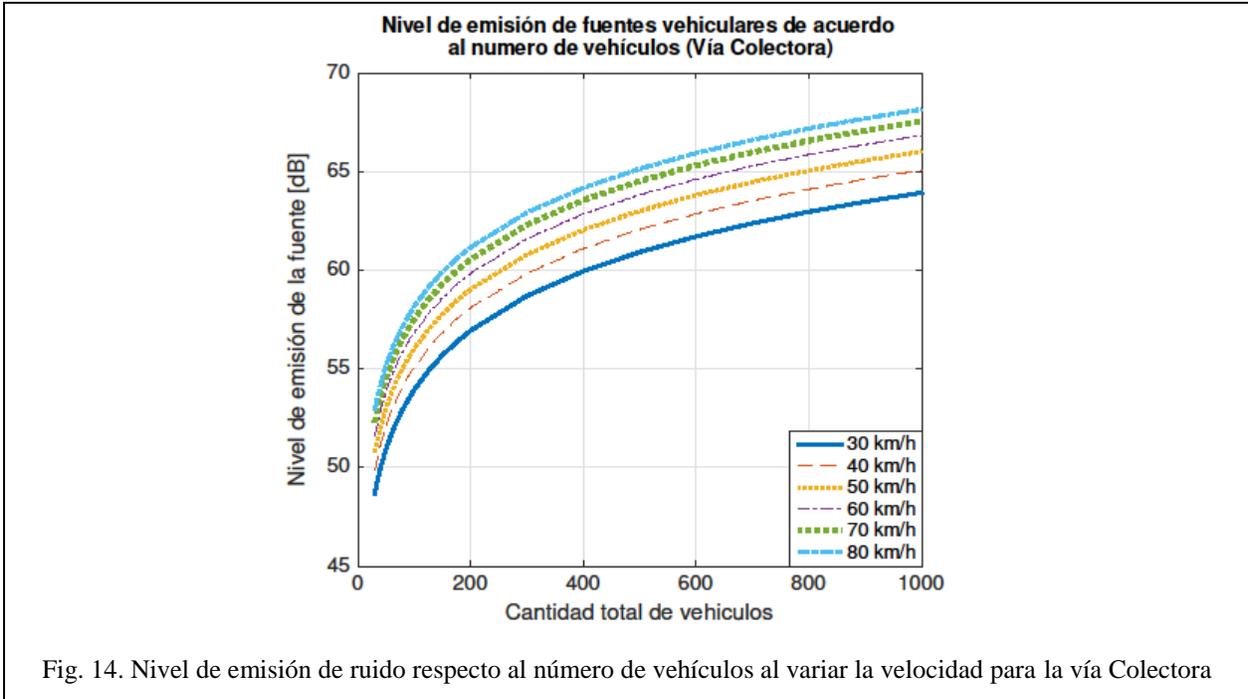


Fig. 14. Nivel de emisión de ruido respecto al número de vehículos al variar la velocidad para la vía Colectora

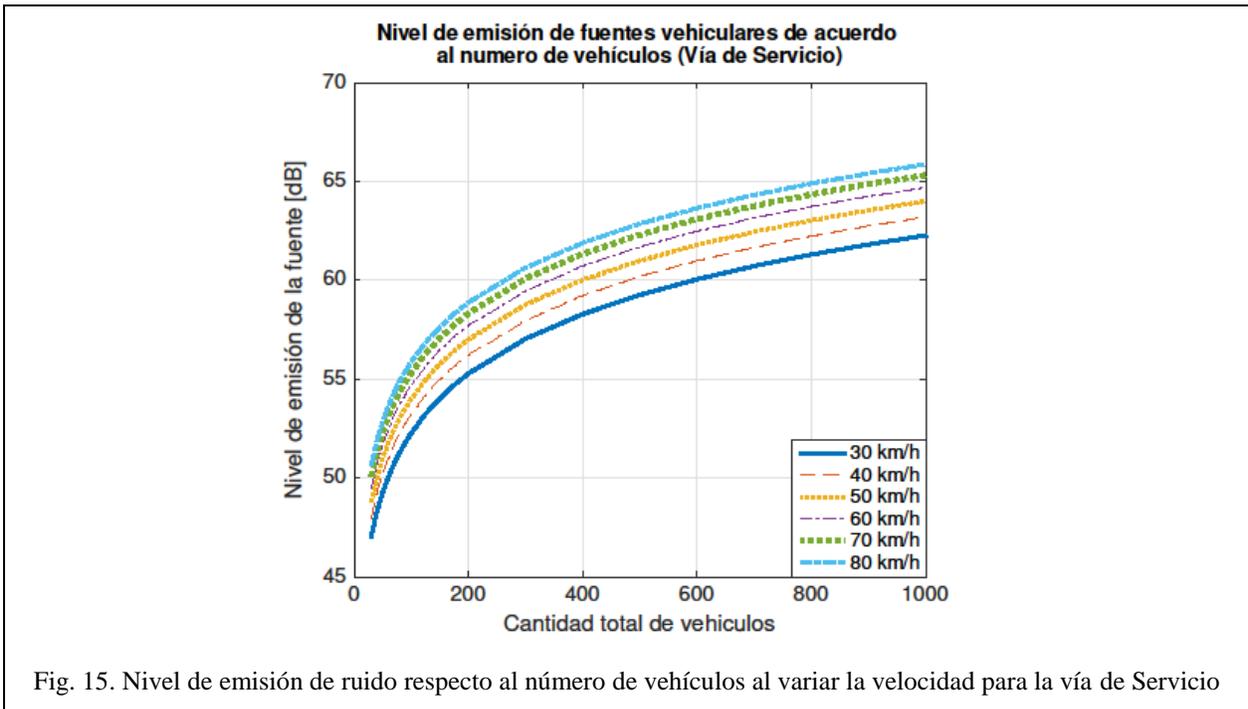
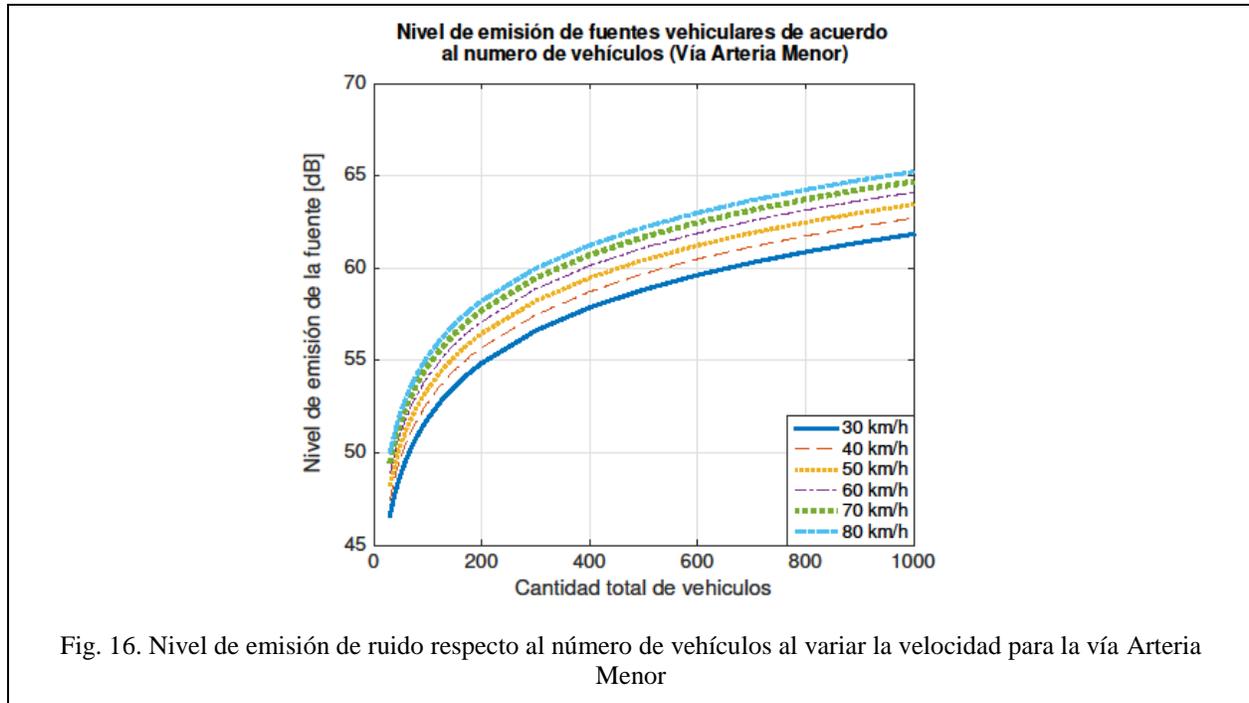


Fig. 15. Nivel de emisión de ruido respecto al número de vehículos al variar la velocidad para la vía de Servicio



Los resultados obtenidos indican que al variar la velocidad cada 10 km/h, se presenta un aumento menor a 1 dB en el nivel de emisión de las fuentes, el cual no es un valor muy significativo. Se aprecia que entre la velocidad más lenta (30 km/h) y 80 km/h, la cual corresponde a la velocidad más rápida, hay un incremento de aproximadamente 4 km/h.

De acuerdo con el análisis realizado, se define la diferencia de ruido estimada que se espera en los resultados a la hora de simular con los datos de aforo manual, los obtenidos con el modelo propuesto sin aplicar la corrección y los datos que fueron resultados al momento de aplicar el factor corrección. La diferencia está dada en términos de baja, media y alta. Donde baja si la diferencia está entre ± 3 dB, media entre ± 6 dB y alta si es mayor a ± 9 dB. Esta información se aprecia en las tablas X, XI, XII y XIII.

TABLA X. AFORO CIUDAD DEL RÍO HORA VALLE

Tipo de vía	Vía	Diferencia de ruido (Aforo estimado)	Diferencia de Ruido (Aforo estimado corregido)
	Carrera 48	Media	Baja

Arteria			
Principal	Carrera 43a	Media	Baja
	Carrera 43f	Alta	Baja
	Carrera 43f	Media	Baja
	Carrera 43b	Media	Baja
Colectora	Carrera 43b	Media	Alta
	Calle 24	Alta	Media
	Calle 23	Media	Baja
	Calle 14	Alta	Media
	Carrera 46	Baja	Baja
	Carrera 45	Baja	Baja
	Carrera 44	Media	Media
	Carrera 43G	Media	Media
	Calle 20	Media	Media
	Calle 19a	Alta	Media
	Calle 19a	Alta	Baja
	Calle 19	Media	Media
Servicio	Calle 19	Baja	Media
	Calle 18a	Alta	Alta
	Calle 18	Media	Baja
	Calle 17	Media	Media
	Calle 16a	Media	Media
	Calle 16	Media	Media
	Calle 16	Media	Media
	Calle 14a	Baja	Media

TABLA XI. AFORO CIUDAD DEL RÍO HORA PICO

Tipo de vía	Vía	Diferencia de ruido (Aforo estimado)	Diferencia de Ruido (Aforo estimado corregido)
Arteria Principal	Carrera 48	Media	Baja
	Carrera 43a	Alta	Baja
Colectora	Carrera 43f	Alta	Baja
	Carrera 43f	Media	Baja
	Carrera 43b	Alta	Baja
	Carrera 43b	Media	Baja
	Calle 24	Media	Media
	Calle 23	Media	Baja
	Calle 14	Media	Media
Servicio	Carrera 46	Baja	Media
	Carrera 45	Baja	Media
	Carrera 44	Media	Media
	Carrera 43G	Media	Baja
	Calle 20	Media	Media
	Calle 19a	Alta	Media
	Calle 19a	Media	Baja
	Calle 19	Media	Media
	Calle 19	Baja	Media
	Calle 18a	Alta	Alta
	Calle 18	Media	Media
	Calle 17	Media	Media
	Calle 16a	Media	Media
	Calle 16	Media	Media
	Calle 16	Media	Media
Calle 14a	Baja	Media	

TABLA XII. AFORO LOS CONQUISTADORES HORA PICO

Tipo de vía	Vía	Diferencia de ruido (Aforo estimado)	Diferencia de Ruido (Aforo estimado corregido)
	Autopista sur	Baja	Baja
Arteria Principal	Calle 33	Baja	Baja
	Carrera 65	Alta	Baja
	Carrera 65	Baja	Baja
Colectora	Calle 34	Alta	Media
	Carrera 63C	Alta	Baja
	Carrera 65d	Alta	Baja
	Carrera 65d	Alta	Baja
Servicio	Calle 34b	Alta	Alta
	Calle 35	Alta	Media
	Calle 35a	Alta	Media
	Calle 36	Alta	Media
	Calle 36	Alta	Media
	Calle 36	Alta	Media
	Calle 37	Alta	Media
	Calle 38	Alta	Media
	Calle 38	Alta	Baja
	Calle 38	Alta	Media
	calle 39	Alta	Media
	Calle 40	Alta	Media
	Calle 40	Alta	Baja
	Calle 41	Alta	Media
	Calle 42	Alta	Baja
	Calle 42a	Baja	Media
	Calle 42b	Alta	Baja
	Calle 42c	Media	Baja
	Carrera 63	Media	Media

Carrera 63a	Alta	Baja
Carrera 63b	Alta	Alta
Carrera 63b	Alta	Baja
Carrera 64	Media	Media
Carrera 64	Media	Alta
Carrera 64a	Baja	Media
Carrera 64b	Alta	Media
Carrera 64b	Baja	Media
Carrera 65a	Baja	Alta
Carrera 66	Alta	Media
Carrera 66	Alta	Media
Carrera 66a	Alta	Baja
Carrera 66a	Alta	Media

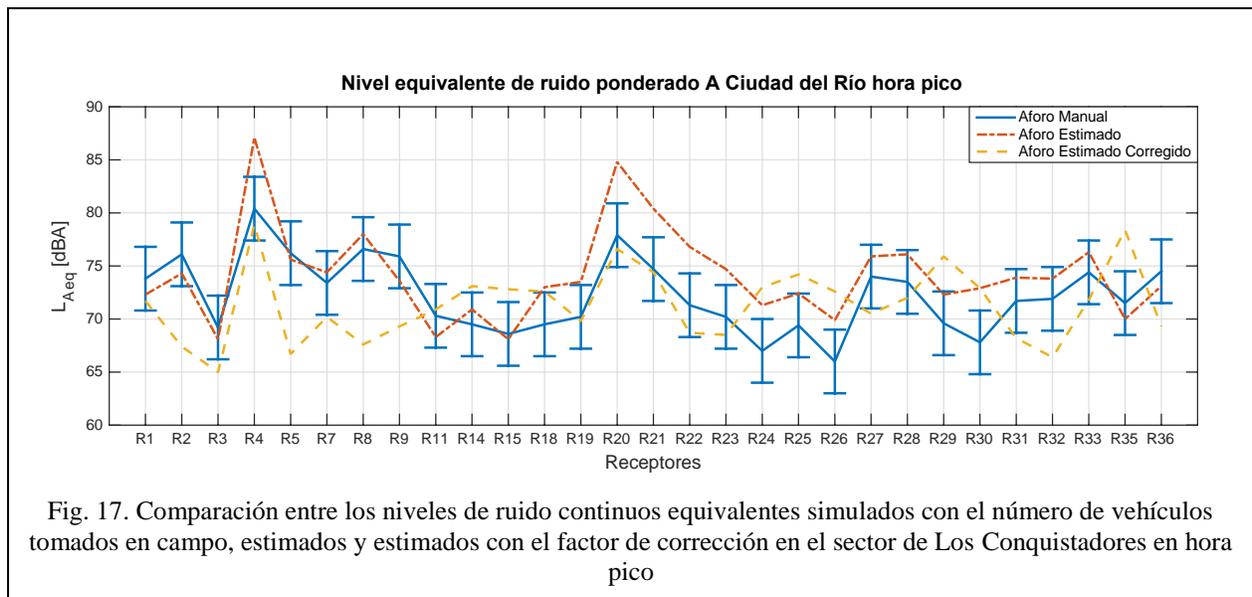
TABLA XIII. AFORO LOS CONQUISTADORES HORA VALLE

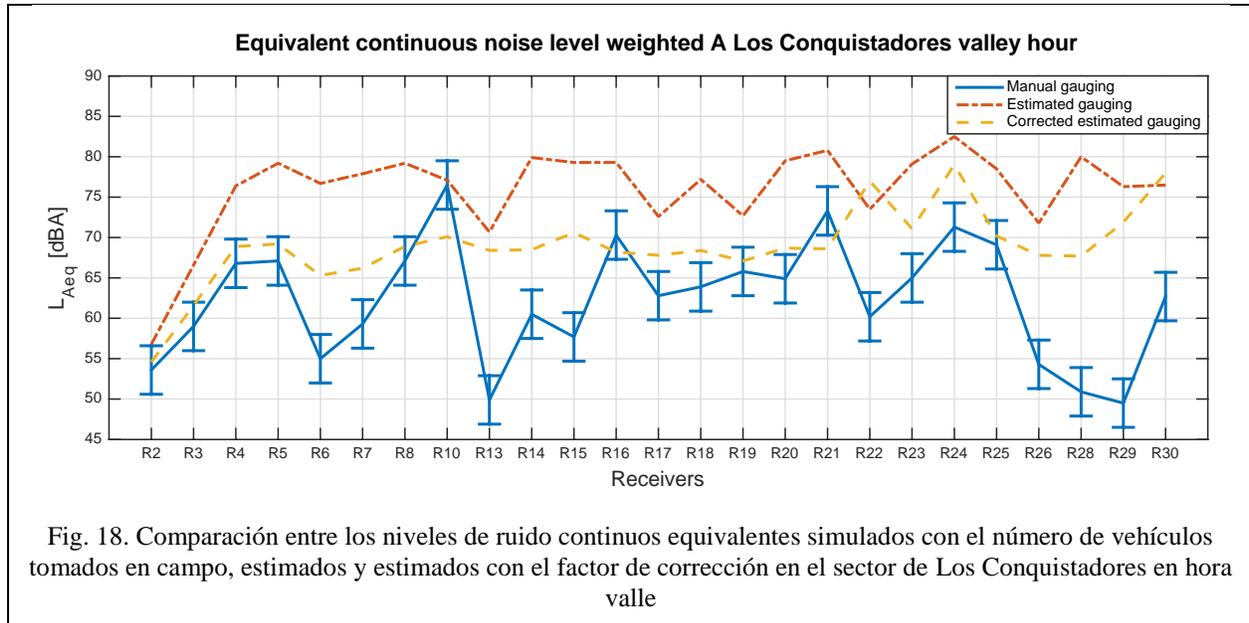
Tipo de vía	Vía	Diferencia de ruido (Aforo estimado)	Diferencia de Ruido (Aforo estimado corregido)
Arteria Principal	Autopista sur	Baja	Baja
	Calle 33	Baja	Baja
	Carrera 65	Alta	Baja
	Carrera 65	Baja	Baja
Colectora	Calle 34	Alta	Media
	Carrera 63C	Alta	Baja
	Carrera 65d	Alta	Baja
	Carrera 65d	Alta	Baja
Servicio	Calle 34b	Alta	Alta
	Calle 35	Alta	Media
	Calle 35a	Alta	Baja

Calle 36	Alta	Media
Calle 36	Alta	Media
Calle 36	Alta	Media
Calle 37	Alta	Media
Calle 38	Alta	Media
Calle 38	Alta	Baja
Calle 38	Alta	Media
Calle 39	Alta	Media
Calle 40	Alta	Baja
Calle 40	Alta	Media
Calle 41	Alta	Media
Calle 42	Alta	Baja
Calle 42a	Baja	Media
Calle 42b	Alta	Baja
Calle 42c	Media	Baja
Carrera 63	Media	Media
Carrera 63a	Alta	Baja
Carrera 63b	Alta	Alta
Carrera 63b	Media	Baja
Carrera 64	Media	Media
Carrera 64	Media	Media
Carrera 64a	Baja	Media
Carrera 64b	Alta	Media
Carrera 64b	Media	Media
Carrera 65a	Media	Media
Carrera 66	Alta	Baja
Carrera 66	Alta	Media
Carrera 66a	Alta	Baja
Carrera 66a	Alta	Media

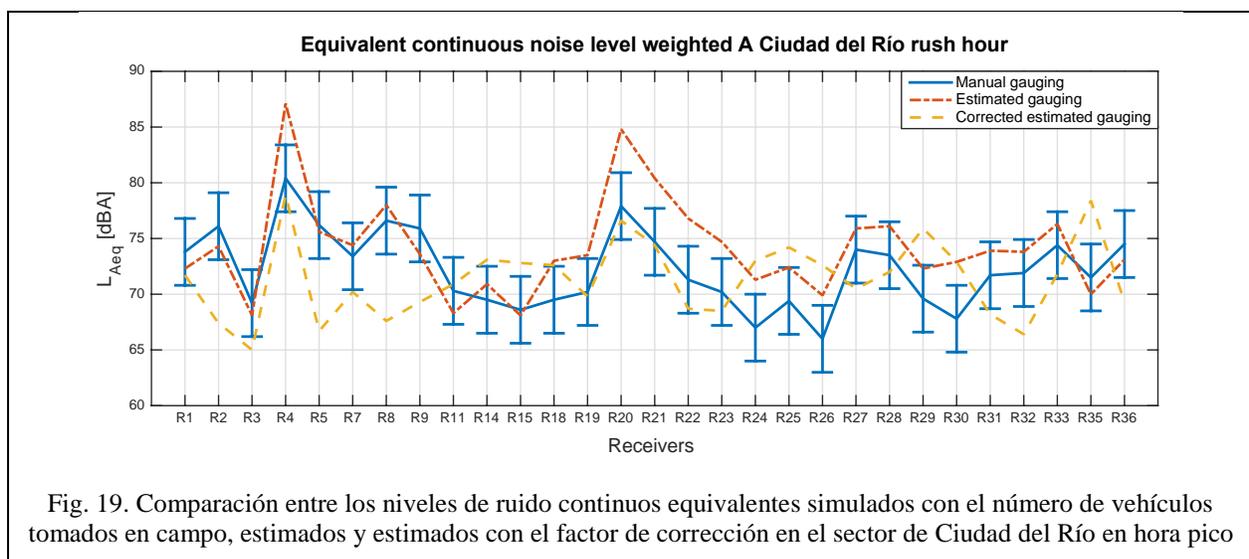
C. Análisis de los datos obtenidos al aplicar el modelo de estimación propuesto

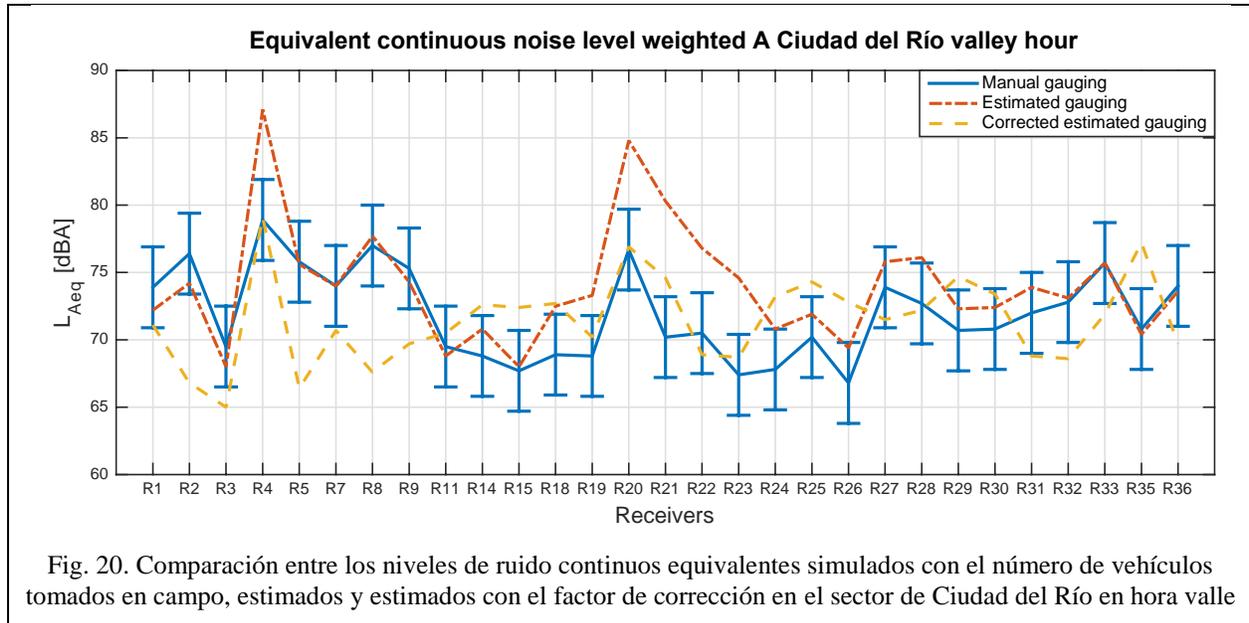
Después de haber calculado el número de vehículos que transitan una vía determinada, se realiza una serie de simulaciones para luego estudiar el funcionamiento del modelo en términos de niveles de ruido. En las figuras 17 y 18, es posible observar el escenario más crítico, el cual es el sector de Los Conquistador. Es posible apreciar como el factor de corrección mejora el resultado cuando los niveles de ruido son simulados en cada uno de los receptores.



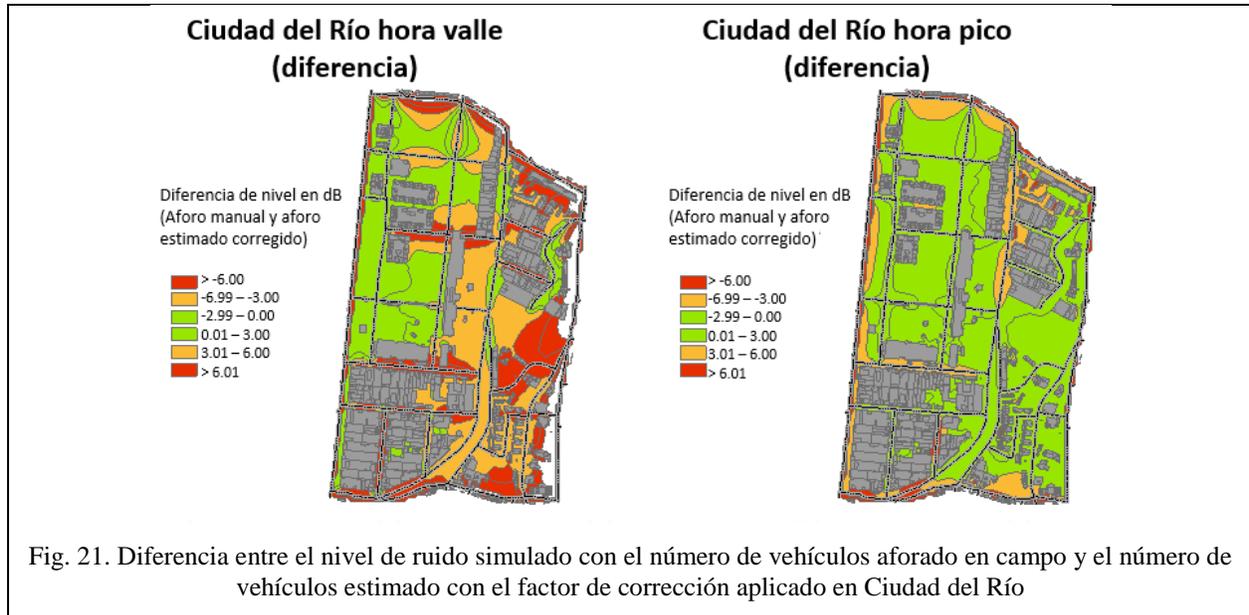


La misma mejora se muestra en las figuras 19 y 20. Sin embargo, hay algunos casos donde el nivel de ruido simulado con el número de vehículos sin aplicar la corrección fue muy cercano al nivel de ruido simulado con el número de vehículos aforado en campo. Entonces, cuando se aplica el factor de corrección, el aforo estimado es un poco más lejano al aforo tomado manualmente. Como consecuencia, el nivel de ruido simulado diverge. A pesar de lo mencionado anteriormente, se muestra una mejora en la mayoría de los receptores simulados.





Por otro lado, no solo se simularon los puntos receptores sino que también se realizó la simulación de un mapa de ruido en las diferentes zonas estudiadas y en diferentes horarios de tiempo. En la figura 21 se muestran que las diferencias entre los niveles de ruido simulados con el aforo manual y el aforo estimado corregido en el sector de Ciudad del Río en hora pico es menor a 3dB, lo cual es un valor no significativo. Esto significa que el modelo funciona muy bien en hora pico. Este período de tiempo es el más importante a estudiar puesto que es una situación crítica donde el nivel de ruido es muy elevado, por ejemplo, la afectación en la población expuesta es mayor.



En el caso de Los Conquistadores, mostrado en la figura 22, es posible observar que la diferencia entre el nivel de ruido es mayor que en el caso anterior. Este comportamiento puede ser producto por el hecho de ser un área residencial, entonces usualmente hay un menor número de vehículos, y el modelo normalmente estima una mayor cantidad (situaciones críticas). Otra razón es que la información requerida para estimar una cantidad de vehículos es tomada de plataformas colaborativas como Google Maps. Esto significa que es posible que un usuario que puede estar transitando la vía, disminuya su velocidad por alguna razón y este es el único reporte que se envía a la plataforma, y cuando la velocidad es lenta se espera que haya una mayor cantidad de vehículos. Pero esta situación no significa que haya mucho tráfico en el área y que todos los vehículos circulando la vía tienen la misma velocidad.

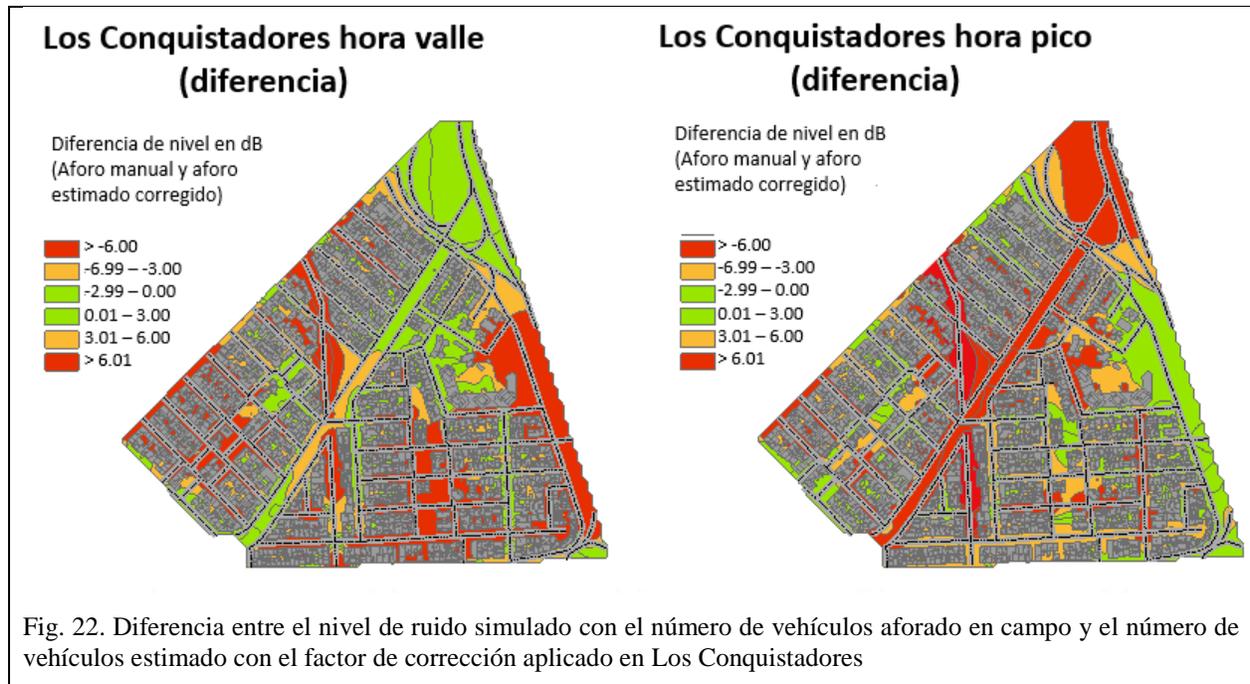


Fig. 22. Diferencia entre el nivel de ruido simulado con el número de vehículos aforado en campo y el número de vehículos estimado con el factor de corrección aplicado en Los Conquistadores

VIII. CONCLUSIONES

En el presente proyecto se propuso un modelo el cual estima la cantidad de vehículos que circulan en cierta vía. Se estudió la sensibilidad de los datos al variar la cantidad de vehículos y el porcentaje de vehículos pesados en los diferentes tipos de vía, dando como resultado que para obtener un aumento de al menos 3 dB en el nivel de emisión se debía duplicar la cantidad de vehículos. Por otro lado, se mostró que al variar la velocidad cada 10 km/h se obtiene un aumento de 1 dB.

Para determinar la eficiencia del modelo, se evaluó la metodología propuesta cuando el nivel de ruido era calculado de acuerdo a los datos arrojados por el modelo, los tomados manualmente en campo y luego comparado con la información recolectada in situ en las áreas de estudio. A partir de los datos obtenidos, es posible concluir que el modelo es efectivo en vías de gran longitud en las cuales se presenta gran aforo pues como se observa al estudiar la sensibilidad de los datos, al tener una gran cantidad de vehículos se requiere el doble de estos para obtener un incremento significativo en el nivel de ruido.

Por último, se puede concluir que para que el modelo sea más efectivo se requiere gran exactitud y datos más detallados (información por tramo de vía) a la hora de obtener la información proveniente de plataformas colaborativas como Google Maps. Son necesarios análisis más detallados del comportamiento vehicular de las zonas de estudio.

REFERENCIAS

- [1] P. Kogan, “Análisis de la eficiencia de la ponderación a para evaluar efectos del ruido en el ser humano,” Master’s thesis, Universidad Austral de Chile, 2004.
- [2] Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía, Ruido y salud, 2008.
- [3] F. Perez, A. Bautista, M. Salazar, and A. Macias, “Análisis del flujo de tráfico vehicular a través de un modelo macroscópico,” DYNA, 2013.
- [4] N. S. Torres, C. Hernandez, and L. F. Pedraza, “Redes neuronales y predicción de tráfico,” Revista Tecnura, vol. 15, no. 29, pp. 90–97, 2011.
- [5] A. Lozano, V. Torres, and J. P. Antún, “Tráfico vehicular en zonas urbanas,” Ciencias, vol. 70, Junio 2003.
- [6] M. Bravo, L. Briceño, R. Cominetti, C. E. Cortés, and F. Martínez, “An integrated behavioral model of the land-use and transport systems with network congestion and location externalities,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 44, no. 4, pp. 584–596, 2010.
- [7] E. Santa María Dávila, L. Flores González, D. C. Tintaya, Y. L. Valero, and W. J. Montenegro, “Determinación de un modelo de simulación de tráfico que considere variables que influyen en su comportamiento basado en redes neuronales artificiales de aprendizaje supervisados,”
- [8] J. Raj, H. Bahuleyan, and L. D. Vanajakshi, “Application of data mining techniques for traffic density estimation and prediction,” Transportation Research Procedia, vol. 17, pp. 321–330, December 2016.
- [9] P. Borkar, M. V. Sarode, and L. G. Malik, “Employing speeded scaled conjugate gradient algorithm for multiple contiguous feature vector frames: An approach for traffic density state estimation,” Physics Procedia, vol. 78, pp. 740–747, 2016.
- [10] A. S. A. Al-Sobky and R. M. Mousa, “Traffic density determination and its applications using smartphone,” Alexandria Engineering Journal, vol. 55, pp. 513–523, 2016.
- [11] O. Asmaa, K. Mokhtar, and A. Ouamri, “Road traffic density estimation using microscopic and macroscopic parameters,” Image and Vision Computing, vol. 31, pp. 887–894, November 2013.
- [12] S. Conradt, “How does google maps know where traffic is?,” web site, April 2017.

- <http://mentalfloss.com/article/92958/how-does-google-maps-know-where-traffic>.
- [13] H. D. Elejade López, J. C. A. Milena, A. Bañuelos Irusta, L. Tafur Jiménez, R. M. Martínez, H. D. Sánchez Quitiaquez, and L. C. Gil Salazar, Actualización de los mapas de ruido de la zona urbana de los municipios de Medellín, Bello e Itagüí. Area Metropolitana del Valle de Aburrá, 2015.
- [14] C. A. Echeverri, D. M. Murillo, and G. M. Valencia, “Simulation of road traffic noise as a tool for redesigning public transport routes in the municipality of Medellin,” *Revisita Ingenierías Universidad de Medellin*, vol. 10, no. 18, pp. 19–30, 2011.
- [15] F. S. Echazarreta, “Estrategia de elaboración de un mapa de ruido,” 2008.
- [16] P. Martínez and A. Moreno, “El ruido ambiental urbano de Madrid: caracterización y evaluación cuantitativa de la población potencialmente afectable,” *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, no. 40, pp. 153–180, 2005.
- [17] J. S. Marulanda, J. Ochoa Villegas, and L. A. Tafur Jiménez, “Alternativas para la adquisición de datos colaborativos necesarios en la construcción de mapas de ruido de tráfico automotor,” *Ingenierías USBMed*, vol. 8, no. 2, p. 14, 2017.
- [18] F. Miyara, *Introducción a la Acústica*. 2011.
- [19] C. Juan Gabriel, “Contenido didáctico del curso acústica y fundamentos del sonido.” Diciembre 2010.
- [20] M. Möser and J. L. Barros, *Ingeniería Acústica, Teoría y Aplicaciones*. Springer, 2009.
- [21] S. A. española, “Acústica ambiental: análisis, legislación y soluciones,” 2009.
- [22] Bruel and Kjaer, “Ruido ambiental,” 2000.
- [23] J. Quartieri, N. Mastorakis, G. Iannone, C. Guarnaccia, S. Ambrosio, A. Troisi, and T. Lenza, “A review of traffic noise predictive noise models,” *Recent Advances in Applied and Theoretical Mechanics*, pp. 72–80, 2009.
- [24] D. M. Murillo Gómez, J. C. Gil Carvajal, V. Zapata Rodríguez, and J. J. Téllez García, “Assessment of the rls 90 calculation method for predicting road traffic noise in colombian conditions,” *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 1, no. 75, pp. 175–188, 2015.
- [25] Braunstein and B. GmbH, “Soundplan manual 7.1,” SoundPLAN International LLC, 2012.
- [26] J. L. Devore, *Probabilidad y Estadística para ingenierías y ciencias*. No. 9, Cengage Learning Editores, 7 ed., 2013.
- [27] C. Martines Bencardino, *Estadística Básica Aplicada*. Ecoe Ediciones, 4 ed., 2011.

- [28] “Código nacional de tránsito terrestre.” Ministerio de Transporte.
- [29] I. Thomson and A. Bull, “La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales,” *Revista de la Cepal*, pp. 109–121, 2002.
- [30] S. A. Rivera and D. E. Cárdenas, “Aceptabilidad de intervalos (brechas) para maniobras en intersecciones de prelación vial,” Master’s thesis, Universidad de Medellín, 2012.
- [31] B. Luis and B. José, “Manual de carreteras,” 2000.
- [32] J. J. Manjarres, J. E. Cabrera, D. Latorre, and J. Reyes, “Características software colaborativo.” web site.
<https://sites.google.com/a/correounivalle.edu.co/softwarecolaborativo-en-internet-uva-univalle/caracteristicas-software-colaborativo-deinternet-1>.
- [33] Acuerdo 48 de 2014. Alcaldía de Medellín, 2014.
- [34] Resolución 0627 (Norma Nacional de emisión de ruido y ruido ambiental). Imprenta Nacional, 2006.

ANEXOS

Anexo 1. Artículo presentado para INTER-NOISE 2018 (Impact of Noise Control Engineering)



Collaborative traffic data for road noise mapping

Anderson Ladino V.¹⁾
 Carolina Duque G.²⁾
 Sergio A. Castrillón I.³⁾
 Claudia E. Durango V.⁴⁾
 Diego M. Murillo G.⁵⁾
 University of San Buenaventura, Medellín
 Cta 56C N° 5-11 San Benito
 Medellín/Colombia 05001

Andrés F. Osorio M.⁶⁾
 University ICESI
 Cali/Colombia 760001

Jorge M. Carranza I.⁷⁾
 Traffic Light Control Center
 Medellín/Colombia 05001

ABSTRACT

This paper addresses the acquisition of non-authoritative collaborative traffic data to predict the noise generated by urban roads. The information about traffic is acquired by means of a API developed by Google, which provides data about travel time and speed over a start-end routes matrix. To determine the traffic flow from these variables, a predictive model is proposed that takes into consideration the type of road, percentage of light/heavy vehicles, and time gap. Furthermore, an analysis of the relevance of the traffic flow data as an input variable for the estimation of the road noise emission has been conducted by numerical simulations. The methodology has been tested in one area of the city of Medellín. The results indicate that it is feasible to use Google Maps as a source of information to predict road urban noise. Nevertheless, further studies are required to improve the estimation of traffic flow from the obtained collaborative data.

Keywords: noise mapping, RLS 90, collaborative data, traffic flow.

¹⁾ email: anderson.ladino@usbmed.edu.co

²⁾ email: carolinaduque96@gmail.com

³⁾ email: sergioandres.castrillon@gmail.com

⁴⁾ email: claudia.durango@usbmed.edu.co

⁵⁾ email: diego.murillo@usbmed.edu.co