



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO Y PROPUESTAS DE MITIGACIÓN
DE LA AVENIDA SIMÓN BOLÍVAR EN EL CONJUNTO JARDINES DE
CARCELÉN

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniero de Sonido y Acústica

Profesor Guía

M.Sc. Miguel Ángel Chávez Avilés

Autor

Andrés Leonardo Avila Peña

Año

2019

DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, evaluación del impacto acústico y propuestas de mitigación de la Avenida Simón Bolívar en el conjunto Jardines de Carcelén, a través de reuniones periódicas con el estudiante Andrés Leonardo Avila Peña en el semestre 201920, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Miguel Ángel Chávez Avilés

Master of Science in Sustainable Building Engineering

CI: 1710724848

DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, evaluación del impacto acústico y propuestas de mitigación de la Avenida Simón Bolívar en el conjunto Jardines de Carcelén, de Andrés Leonardo Avila Peña, en el semestre 201920, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Daniel Alejandro Núñez Solano

Master of Science in Engineering Acoustics

CI: 1716430911

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Andrés Leonardo Avila Peña

CI: 1752960599

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, a mis hermanos y a mi familia en general por apoyarme y enseñarme a aprender.

DEDICATORIA

Quiero dedicar el cumplimiento de esta meta a mis padres Leonardo y Yomara pilares fundamentales de todo este proceso. Además, dedico y comparto la alegría con mis hermanos Leonardo y Francisco.
ΔTriversus!

RESUMEN

El presente trabajo de titulación muestra la evaluación del impacto acústico que produjo la Avenida Simón Bolívar en los habitantes del conjunto residencial Jardines de Carcelén. Además, presenta la metodología para definir propuestas de mitigación a dicho impacto.

La evaluación del impacto acústico se realiza desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo.

Para la evaluación cuantitativa se realizó un modelo digital del caso de estudio en el software de predicción acústica Cadnaa. Mediante el uso de la normativa ISO 9613-2 y el modelo de predicción de tráfico rodado RSL 90 se diseñó la metodología para levantar toda la información necesaria para desarrollar el modelo digital. Además, gracias a la Secretaria de Movilidad de la ciudad de Quito, se obtuvo las características de la avenida y el flujo vehicular por hora.

Con respecto a la evaluación cualitativa, se aplicó la normativa ISO/TS15666, la misma se usa para el diseño de encuestas socio acústicas. Se realizó encuestas a 177 domicilios y se pudo identificar el impacto subjetivo en el caso de estudio.

Los resultados muestran que existe una molestia por parte de los habitantes y que los niveles de emisión, en un sector identificado, sobrepasan los niveles máximos recomendados por el Ministerio del Ambiente de Colombia. Por este motivo, se realizó el diseño de 3 propuestas de mitigación.

El enfoque de las propuestas se define en los 3 pilares fundamentales de la propagación del sonido: el emisor, el receptor y el medio de propagación.

Finalmente, se obtuvo el mapa de ruido para el caso de estudio y 3 propuestas de mitigación que atienden las necesidades específicas los habitantes.

Palabras clave: tráfico rodado, acústica ambiental, ruido, molestia.

ABSTRACT

The present work of titulation shows the evaluation of the acoustic impact that produced the Simón Bolívar Avenue in the inhabitants of the residential complex Jardines de Carcelén. In addition, it presents the methodology to define mitigation proposals for this impact.

The evaluation of the acoustic impact is made from the qualitative and quantitative point of view.

For the quantitative evaluation, a digital model of the case study was made in the Cadnaa acoustic prediction software. Through the use of the ISO 9613-2 standard and the model of traffic prediction RSL 90, the methodology was designed to gather all the necessary information to develop the digital model. In addition, thanks to the Secretary of Mobility of the city of Quito, the characteristics of the avenue and the vehicular flow per hour were obtained.

With respect to the qualitative evaluation, ISO / TS15666 was applied, it is used for the design of socio-acoustic surveys. Surveys were conducted at 177 households and the subjective impact could be identified in the case study.

The results show that there is annoyance on the part of the inhabitants and that the emission levels, in an identified sector, exceed the maximum levels recommended by the Ministry of the Environment of Colombia. For this reason, the design of 3 mitigation proposals was carried out.

The focus of the proposals is defined in the 3 fundamental pillars of sound propagation: the emitter, the receiver and the propagation medium.

Finally, the noise map was obtained for the case study and 3 mitigation proposals that meet the specific needs of the inhabitants.

Keywords: road traffic, environmental acoustics, noise, discomfort.

ÍNDICE

1. Introducción	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Marco referencial.....	5
1.3 Hipótesis:.....	5
1.4 Alcance.....	6
1.5 Justificación	6
1.6 Objetivo General.....	7
1.7 Objetivos específicos.....	7
2. Marco teórico.....	7
2.1 Efectos negativos del ruido.....	7
2.2 Descriptores de Ruido ambiental.....	9
2.2.1 Elementos de contaminación acústica.....	9
2.2.2 Nivel de presión sonora continua equivalente	10
2.2.3 Nivel de exposición sonora.....	11
2.2.4 Niveles percentiles.....	12
2.3 Propagación del sonido	12
2.3.1 Norma ISO 9613-2.....	14
2.4 Predicción de ruido por tráfico rodado	14
2.4.1 Modelo alemán RLS90	15
2.4.2 Modelo Ingles CORTN.....	17
2.4.3 Modelo Nórdico SP96.....	18
2.4.4 Norma ISO 1996-2.....	18
2.4.5 Norma EN 1793-3.....	19
2.5 Estándares máximos recomendados para ruido ambiental por tráfico rodado.....	20
2.6 Métodos de control de ruido por tráfico rodado.....	22
2.6.1 Barreras acústicas	22

2.6.1.1	Cálculo de atenuación por Fresnel.....	24
2.6.1.2	Barreras acústicas finitas	25
2.6.2	Ventanas dobles	26
2.6.2.1	Aislamiento acústico en fachada mixta.....	27
2.6.3	Control de velocidad	29
2.7	Encuestas socio-acústicas.....	31
2.8	Ponderación A.....	32
3.	Metodología.....	33
3.2	Modelo digital	34
3.2.1	Instrumentación	34
3.2.2	Levantamiento de información cartográfica	34
3.2.3	Comportamiento del ruido en la Av. Simón Bolívar	36
3.2.4	Conteo de Vehículos	36
3.2.5	Mediciones de validación.....	39
3.2.6	Flujo vehicular y porcentaje de vehículos pesados.....	40
3.2.7	Validación y ajuste del modelo digital	42
3.2.8	Mapa de ruido del caso de estudio	43
3.3	Encuesta	43
3.4	Diseño de propuestas de mitigación.....	44
3.4.1	Control de velocidad	45
3.4.2	Barrera acústica.....	45
3.4.3	Vidrio doble.....	45
4.	Resultados	46
4.1	Modelo digital	46
4.1.1	Comportamiento del ruido en la Avenida Simón Bolívar.....	46
4.1.2	Validación del modelo digital	48
4.1.3	Mapa de ruido del caso de estudio	49
4.2	Encuestas	52
4.3	Diseño de propuestas de mitigación.....	58
4.3.1	Condiciones iniciales y receptores.....	59
4.3.2	Control de velocidad.....	60
4.3.3	Barrera acústica.....	63

4.3.4 Vidrios dobles	66
5. Discusión	69
6. Conclusiones y Recomendaciones	74
6.1 Conclusiones.....	74
6.2 Recomendaciones	76
REFERENCIAS	77
ANEXOS	81

1. Introducción

1.1 Antecedentes

El bienestar de una comunidad es un factor primordial que se debe tener en cuenta al momento de realizar cualquier tipo de construcción. El ruido por tráfico rodado es uno de los problemas más recurrentes con respecto a contaminación acústica y tiene un fuerte impacto económico, social y de salud. En los países en vías de desarrollo, como Ecuador, frecuentemente se ignora dicho impacto.

Desde el punto de vista ambiental, las obras de viabilidad y expansión urbana ocasionan múltiples impactos negativos. Se debe trabajar bajo una legislación responsable con el medio ambiente y el entorno. En GOODWIN & SHRIVER (2011), se estudió como las especies de aves, que vivían en sectores donde se realizaron construcciones viales, se veían afectadas en su comunicación y su proceso reproductivo. Debido a que el ruido de tráfico enmascara frecuencias fundamentales propias de las aves que se comunican de manera vocal. De esta manera, se indicó que los efectos del tráfico afectan a los hábitats de especies que tienen su canto o forma de comunicación dentro del espectro frecuencial que emite el tráfico.

No obstante, las investigaciones, sobre el impacto del ruido en sectores urbanos, han concluido resultados importantes. En Madrid, en el 2010, el 74% de los habitantes indicaron inconformidad de vivir en una ciudad ruidosa, señalando como principal fuente de molestia el ruido en las carreteras. Las estadísticas de la Unión Europea mostraron que, existe una causalidad entre el ruido del tráfico y 10 000 muertes prematuras al año. Además, el ruido excesivo por tráfico nocturno se relaciona con un incremento del 4% de mortalidad por diabetes. No obstante, se indicó que, con una reducción de 0,5 decibeles en los niveles de emisión, se puede mitigar las cifras en varios cientos de personas (Madrid, 2010).

En 2016, se señalaron datos que responsabilizan al ruido de tráfico rodado con altas tasas de partos prematuros. Los estudios indicaron que por cada decibel

que se aumente en el ruido de tráfico rodado, se incrementa el riesgo de un parto prematuro en 15,4%; en 6,9% un parto muy prematuro y de 22,2% en un parto extremadamente prematuro. Los resultados del estudio determinaron que, los problemas fisiológicos que ocasiona el ruido de tráfico ocasionan trastornos biológicos. Para mujeres en periodo de gestación, puede significar partos prematuros, reduciendo el periodo de gestación hasta a 30 semanas (Linares, 2016).

Algunos sectores urbanos, como, por ejemplo, conjuntos residenciales, son sitios que cuentan con flora y fauna. El sonido propio de estos sitios puede generar un ambiente relajante. Las construcciones de carreteras que atraviesan dichos lugares tendrán un impacto acústico negativo. Por ejemplo, un estudio realizado en 2017, se determinó que el 63% de los espacios verdes en Washington, el ruido de fondo sufre variaciones en el nivel equivalente, de hasta 9 dBA, con el paso de tráfico por la zona. La contaminación acústica reduce en 90% los sonidos naturales de espacios dedicados para el descanso y zonas residenciales, esto ocasiona la migración de especies fundamentales en el desarrollo de un ecosistema estable (Washington, 2017).

De la misma forma, en Madrid se consideran los parques y zonas urbanas como lugares de descanso y quietud. Desde el punto de vista ambiental, el tráfico y el ruido representa un impacto negativo a nivel físico y mental de los ciudadanos. En una investigación desarrollada en 2013, se utilizó el mapa de ruido de Madrid y en función de los niveles de emisión y del uso de suelo, determinaron sectores en donde se necesitaba corregir las condiciones acústicas. Se dio prioridad a las zonas donde los niveles máximos y mínimos eran muy dispersos. Esto con el objetivo de mejorar la calidad del aire de la ciudad (Suarez, Jimenez, 2013)

En Caracas existe una fuerte inversión en proyectos de movilidad. Por este motivo en 2012 se indicó que, si el objetivo es ayudar a reducir la contaminación acústica, primero se debe trabajar en soluciones relativas a las vías ya existentes. Debido a que, requieren una pronta atención. Las soluciones como

pantallas acústicas y mantenimiento en carreteras son más sustentables que realizar nuevas carreteras que tendrán los mismos problemas. (Lizárraga, 2012)

De igual manera, desde el punto de vista local (Ecuador), la contaminación acústica es un problema que representa el deterioro de la calidad de vida. Se realizó una investigación en la vía de Samborondón (Ecuador), donde se realizaron mediciones para el día y de la noche. Se dividió la vía en 4 sectores, y los resultados de las mediciones mostraron que, en el día, la avenida emite niveles máximos de alrededor de 72,5 dBA y en la noche en de 74,9 dBA. Se verificó que ningún punto de la carretera respeta valores máximos recomendados de emisión, esto según la RESOLUCIÓN 627 del Ministerio del Ambiente de la República de Colombia . Además, el estudio concluyó que esta carretera necesita un plan de acción para mitigar el impacto acústico (Peralta, Narváez, & Valdéz, 2016).

El control de ruido de tráfico es una alternativa que conlleva un beneficio económico. Se realizaron valoraciones económicas del ruido de tráfico, por ejemplo, el método de valoración contingente. Mediante un estudio de campo se socializó la idea de que, una solución acústica es un beneficio tanto para la salud como para la economía. Se hizo un estudio estadístico para poder obtener la disponibilidad a pagar por dicha solución y se cuantificó la disponibilidad por cada decibel a reducir. Gracias a esto se agiliza la manera de tomar de decisiones para las propuestas de mitigación por ruido (Restrepo, Múnera, & Valencia, 2015).

Además, en función de varias mediciones realizadas en carreteras de Madrid, se pudo observar los puntos donde, la molestia por ruido de tráfico es máxima. En términos generales, las viviendas que están al pie de carretera reciben niveles de 70 y 75 decibeles, valores que están muy por encima de la normativa vigente en España. Por este motivo las soluciones se enfocaron en dos pilares fundamentales, en la fuente y en el medio de propagación. Con respecto a la fuente la propuesta fue mejorar la calidad de las carreteras y controlar la velocidad del tránsito. Con respecto al medio de propagación la implementación

de barreras acústicas dentro de los tramos donde las vías interferían con las zonas urbanas (Madrid, 2017).

Los resultados de estudios por molestia al ruido de tráfico convergen en propuestas para mitigarlo. Un hospital ya construido puede tener como problemática principal el ruido de tráfico. Se demostró que, en un hospital, los quirófanos, salas de consulta y centros especializados, tienen conflicto con ruidos externos. Una propuesta de mitigación económica fue el diseño de una barrera acústica, identificando las posiciones en las que se necesita una atenuación. Posteriormente en los resultados se consiguió una sensación de reducción de ruido del 27% con respecto al estado inicial (Pilar, Janeth, Javier, & Ever, 2015).

Entre soluciones ecológicas, se encuentran las pantallas acústicas compuestas de vegetación, arcilla y material aglutinante. Se comprobó que, este tipo de barreras son estructuralmente estables, aunque su atenuación varía en función a las condiciones climatológicas. No obstante, se verificó que, pese a que los resultados varían con el clima, este tipo de barreras mantienen niveles de atenuación óptimos, incluso en momentos de viento y lluvia intensa (Rodríguez, Balboa, Santana, & Molina, 2015).

Por otro lado, el desarrollo de mapas de ruido es una herramienta fundamental para evaluar escenarios urbanos desde el punto de vista acústico. Una investigación realizada en Quito se enfocó en el desarrollo del mapa de ruido de la ciudad. Mediante la comparación de 3 modelos de predicción de ruido por tráfico rodado, se concluyó que, el modelo alemán RLS-90 era el más idóneo para el caso de estudio. Además, determinaron que el 25% de los ciudadanos, están expuesto a niveles por encima de los 65dBA (Luis Bravo Moncayo, 2019).

Finalmente, la investigación preliminar mostró que el ruido de tráfico es un problema que ataca a los habitantes de una comunidad, que puede reducir la tasa de mortalidad debido al estrés, trastornos cardiacos y nerviosos. Lo que

indica que, al presentarse un problema de ruido, es necesario diseñar propuestas de mitigación que analicen la fuente de emisión, el medio de propagación y el receptor.

1.2 Marco referencial

El caso de estudio se encontró ubicado entre 2 carreteras muy importantes del norte de la ciudad de Quito, la nueva extensión de la Avenida Simón Bolívar y la Panamericana norte en el Sector Carretas. El nombre de la urbanización es Conjunto Jardines de Carcelén, una zona residencial con aproximadamente 500 casas, con zonas de descanso, espacios recreativos.

Con respecto a la Avenida Simón Bolívar, se identifica que está aproximadamente 3 metros bajo el nivel del conjunto residencial, además, la primera fila de casas está a 5 metros del cerramiento que separa la Avenida y al conjunto. Además, el cerramiento mide 2,5 metros de altura promedio. Por esta carretera, transitan vehículos ligeros, motocicletas y vehículos pesados.

Debido a que, previo a la construcción de esta carretera el conjunto contaba con un espacio verde de recreación, se realizará una evaluación sobre el impacto ambiental en este sector.

1.3 Hipótesis:

La extensión de la Av. Simón Bolívar tiene un impacto acústico importante en los habitantes del Conjunto Jardines de Carcelén, y necesita un plan de mitigación.

1.4 Alcance

La investigación evaluará el impacto acústico que tiene la Av. Simón Bolívar en el conjunto Jardines de Carcelén. Mediante la aplicación de una metodología mixta, entre parámetros cualitativos y cuantitativos, se determinarán los sectores con mayor grado de molestia. En función a los resultados se generarán propuestas de mitigación que sean coherentes con las necesidades que se identifiquen y se enfoquen en el principio de costo beneficio.

Los resultados y discusión estarán en función del día y la noche. De esta manera, se podrán ajustar las propuestas a condiciones más específicas.

1.5 Justificación

Los diferentes proyectos de expansión vial que tiene Ecuador son logros importantes para el país, no obstante, existen efectos colaterales para los cuales existe un escaso desarrollo.

El conjunto Jardines de Carcelén, hace varios años fue notificado de la construcción de la extensión de la Avenida Simón Bolívar, en el lugar donde antes el condominio contaba con una cancha de césped y una zona verde de recreación. Dichos espacios desaparecerían con la construcción de esta obra vial que ya estaba aprobada.

“Después las molestias fueron incrementando en el periodo de construcciones, la transmisión de vibraciones por la maquinaria era insoportable, durante todo el día incluyendo las horas de descanso, los propietarios llegaban a confundir el trabajo de construcción con sismos” indicó el administrador de la urbanización el Sr. Jorge Quilca.

Finalmente, la carretera se inauguró y empezaron nuevas molestias. Entrevistas realizadas a los habitantes del condominio, indicaron en términos generales que

el ruido de tráfico interrumpe las actividades en la mañana, dificulta la concentración en la tarde y ocasiona problemas para dormir en la noche.

Por este motivo es pertinente, realizar un análisis del impacto acústico que ha generado la Av. Simón Bolívar en el Conjunto Jardines de Carcelén. De igual manera, es necesario realizar propuestas de mitigación al ruido en función de la molestia que se presente.

1.6 Objetivo General

Analizar el impacto acústico producido por la extensión de la Av. Simón Bolívar en el Conjunto Residencial Jardines de Carcelén y realizar propuestas de mitigación, para combatir los efectos negativos de esta fuente de ruido.

1.7 Objetivos específicos

Evaluar el porcentaje y el grado de molestia que sienten los habitantes del condominio por ruido de tráfico rodado.

Evaluar los niveles de presión sonora que se encuentran en los diferentes puntos del conjunto.

Diseñar propuestas de mitigación al ruido de tráfico rodado, que sean coherentes a los resultados de la investigación.

2. Marco teórico

2.1 Efectos negativos del ruido

El ruido es un factor que por definición es molesto para el entorno en general, los efectos que de este problema son totalmente negativos desde varios puntos de vista.

Desde el punto de vista ambiental, el ruido de tráfico es un agente externo que desequilibra la flora y la fauna. Por ejemplo, al insertar carreteras que generan ruido por tráfico rodado, se produce un enmascaramiento en el rango frecuencia en el que se comunica la fauna de un ecosistema (GOODWIN & SHRIVER, 2011).

En segundo lugar, el ruido presenta un impacto destructivo en la salud de las personas. Uno de los factores negativos del ruido es el estrés. Un trastorno que se presenta debido a que el ruido afecta en el equilibrio acústico de un entorno e impide la concentración y relajación (Restrepo, Múnera, & Campo, Estimación de la relación entre el ruido y la molestia generada por el tráfico vehicular: una aplicación en la ciudad de Medellín, Colombia *, 2018). Así mismo, se descubrió una relación entre la exposición al ruido y los partos prematuros. Demostrando que los impactos en el sistema fisiológico, producido por el ruido, ocasionan un impacto biológico que produce una reducción en el periodo de gestación de hasta 9 semanas (Linares, 2016). En general el ruido deteriora la calidad de vida.

Igualmente, el ruido presenta impactos negativos a nivel social y económico. La falta de planificación al momento de realizar una construcción vial ha ocasionado problemas de ruido en sectores urbanos. En países del tercer mundo, se han acostumbrado las condiciones del ruido de tráfico rodado, debido a que, no se presentan alternativas a este problema. Frecuentemente, aquellos que ya se acostumbraron al ruido, confunden confort acústico con lujo y esto impide que existan legislaciones para controlar el ruido en carreteras. El impacto por ruido afecta la economía del ciudadano promedio. Por ejemplo, se conoce que la plusvalía varía en función de factores hedónicos, entre ellos está el confort acústico. Este problema reduce el valor final de los predios afectados por el ruido (Restrepo, Múnera, & Valencia, 2015). No obstante, esto permite que el ruido sea un problema al que un usuario presente una disponibilidad a pagar por una solución. Es decir, que el usuario pague por el control de ruido y a cambio el precio de su vivienda incremente.

2.2 Descriptores de Ruido ambiental

La contaminación acústica es un producto de la actividad humana (Daumal, Monzón, & López-Mesa, 2018). Nuestra naturaleza intrínseca de expandirnos en el medio en el que nos desarrollamos ocasiona actividades que generan ruido. Entiéndase al ruido como toda perturbación acústica no deseada. Al introducir un agente externo a un medio ambiente equilibrado se generará molestia. Por este motivo es de vital importancia el desarrollo de descriptores de ruido que permitan cuantificar la exposición con respecto a las diferentes fuentes que se puedan presentar.

2.2.1 Elementos de contaminación acústica

El ruido puede ser emitido por diferentes fuentes que pueden ser innumerables, por este motivo se las agrupa para su fácil reconocimiento e interpretación (Ridao, 2011).

Tráfico rodado: Es una de las fuentes más comunes y que en el entorno urbano es responsable del 90% de los problemas acústicos. Básicamente se toman como referencia las carreteras y su flujo vehicular. Los vehículos pesados, vehículos ligeros y motocicletas, destacan en la caracterización de los niveles de exposición para este tipo de fuente de ruido ambiental.

Actividades de ocio: Existen ordenanzas que determinan los permisos para el funcionamiento de discotecas, bares y todos los lugares de entretenimiento. Se toma como una fuente de ruido a los locales que se dedican a cualquier actividad de ocio, cuya principal característica es la emisión de “música” a intensidades sonoras dañinas para el ser humano.

Obras y construcción: En todas las ciudades y sobre todo las que se encuentran en constante expansión, como Quito – Ecuador, existen obras de construcción y mantenimiento vial que tienen un impacto acústico perjudicial para las personas que están a sus alrededores.

Aviones – Ferrocarriles: Las rutas de aviación suelen cruzar zonas urbanas o zonas con fauna sensible a estas perturbaciones. Esto genera un impacto negativo relativo a esta actividad. De igual manera, la cercanía de viviendas a rutas de ferrocarriles, crean una molestia a la que las personas se ven obligadas a acostumbrarse.

Industrias: Aunque existen reglamentos en función del uso de suelo, dejando zonas específicas para el funcionamiento de actividades industriales. Existen actividad de pequeñas industrias en zonas residenciales. Estas generan un aumento considerable a los niveles de exposición sonora en las zonas anexas a estos lugares.

2.2.2 Nivel de presión sonora continua equivalente

Un descriptor fundamental es el nivel de presión sonora continua equivalente, considera a las variaciones de niveles de exposición como fluctuaciones energéticas. Para conseguir un valor global significativo y coherente a la naturaleza del fenómeno, se realiza un promedio logarítmico.

$$L_{Aeq} = 10 \text{ Log} \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i 10^{\frac{SPL_i}{10}} \right]$$

(Ecuación 1) Cálculo del nivel equivalente continuo en un intervalo de tiempo.

De esta manera se obtienen descriptores para el día y la noche, tomando en cuenta franjas horarias para cada periodo. Obteniendo un valor global representativo para determinadas partes del día.

$$L_{Aeq_d} = 10 \text{ Log} \left[\frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} t_i 10^{\frac{SPL_i}{10}} \right]$$

(Ecuación 2) Cálculo del nivel equivalente continuo para el día desde las 07:00 hasta las 23:00.

$$L_{Aeq_n} = 10 \text{ Log} \left[\frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 t_i 10^{\frac{SPL_i}{10}} \right]$$

(Ecuación 3) Cálculo del nivel equivalente continuo para el día desde las 22:00 hasta las 07:00.

De igual manera se tienen descriptores para el día completo, tales como, el nivel equivalente para las 24 horas. Es un promedio logarítmico para todos los valores comprendidos en las 24 horas del día. No obstante, el más utilizado es el nivel equivalente día – noche, que considera una penalización de +10dB en el nivel equivalente de la noche. Debía a que, en esta franja horaria se presenta mayor sensibilidad ya que se supone que es un horario de descanso.

$$L_{Aeq_{24}} = 10 \text{ Log} \left[\frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} t_i 10^{\frac{SPL_i}{10}} \right]$$

(Ecuación 4) Cálculo del nivel equivalente continuo para las 24 horas del día.

$$LDN = 10 * \text{Log} \left[\frac{1}{24} \left(16 \left(10^{\frac{L_{Aeq_d}}{10}} \right) + 8 \left(10^{\frac{L_{Aeq_n} + 10}{10}} \right) \right) \right]$$

(Ecuación 5) Cálculo del nivel día-noche.

2.2.3 Nivel de exposición sonora

Conocido por las siglas en ingles SEL, este descriptor es el sonido constante en un 1 segundo con la misma cantidad energética que el ruido presente en un intervalo temporal.

$$SEL = 10 \text{ Log} \left[\frac{1}{t_o} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_o^2} dt \right]$$

(Ecuación 6) Expresión matemática para representar el nivel de exposición sonora en un intervalo temporal.

2.2.4 Niveles percentiles

Son indicadores estadísticos que permiten identificar los niveles que han alcanzado o sobrepasado un porcentaje determinado del periodo analizado.

Frecuentemente se toma como referencia el percentil 10,50 y 90.

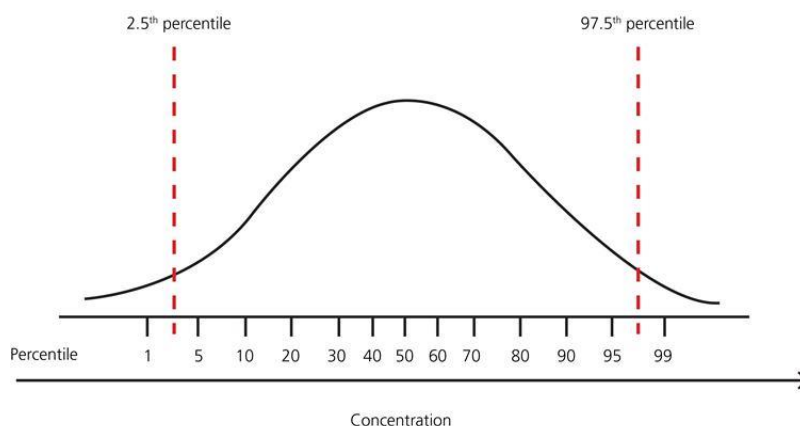


Figura 1. Campana de Gauss.

Tomado de (Digitales, 2019)

En estadística, se considera que todo evento medido en un intervalo de tiempo se aproxima a una distribución normal (Ekelund, 2018). Cuya característica es una campana gaussiana. En la figura 1 se pueden observar los percentiles y la distribución aproximada de una observación medida en un intervalo temporal.

2.3 Propagación del sonido

El sonido es una variación de presión en un volumen de aire o cualquier otro medio. Dicha perturbación en el aire presenta varias propiedades en su propagación.

Una propiedad muy importante relativa al medio de propagación es la transmisión del sonido, que principalmente depende de la elasticidad del medio. Es decir, la capacidad de regresar a su estado original después de una perturbación. La transmisión es la velocidad con la que el sonido se propaga en el medio y dependerá de la temperatura y la presión.

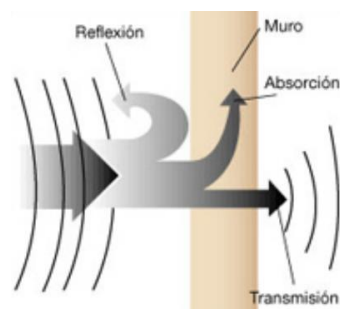


Figura 2. Propagación del sonido.

Tomado de (Musiki, 2019)

En la figura 2, se puede observar 2 propiedades que caracterizan a las superficies que obstaculizan la propagación del sonido. La reflexión es toda la energía que después de incidir en una superficie rebota en la dirección contraria (dependiendo del ángulo de incidencia). La energía reflejada dependerá de otra de las propiedades de la propagación del sonido que es la absorción, cualidad de retener la energía incidente y disiparla por calor o por vibraciones de la superficie. Finalmente, resta una energía resultante que se transmite a través de la superficie. Estas tres divisiones de la energía incidente dependerán de las características físicas del material del que esté construida la superficie.

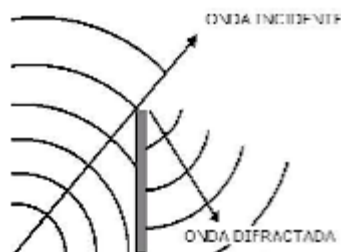


Figura 3 Difracción del sonido.

Tomado de (LabioFísica, 2019)

Al existir un obstáculo en la propagación del sonido se experimenta un fenómeno conocido como difracción del sonido, como se ve en la figura 3. Consiste en que frente a un obstáculo el sonido lo envuelve. A partir de esto, en el extremo del obstáculo se presenta una onda difractada con menos energía que el incidente y con un ángulo que forma una sombra acústica por debajo de la difracción.

Las propiedades de este fenómeno dependerán de la frecuencia y del tamaño del obstáculo.

2.3.1 Norma ISO 9613-2

La normativa ISO 9613, en su segunda parte, hace referencia al cálculo de la atenuación del sonido durante su propagación en campo abierto. (ISO9613-2, 1996)

En resumen, la normativa presenta una serie de algoritmos que calculan la atenuación a través del medio de un sonido que proviene de una fuente puntual o un conjunto de fuentes que pueden estar estacionarias o en movimiento, para dichos cálculos consideran las siguientes características.

- Divergencia geométrica.
- Absorción Atmosférica.
- Efecto del suelo (características de transmisión y absorción).
- Reflexiones de las superficies.
- Difracción por obstáculos.

El software de predicción acústica CandaA se basa en esta normativa para realizar sus predicciones.

2.4 Predicción de ruido por tráfico rodado

Los modelos de tráfico rodado son metodologías para predecir el comportamiento de una carretera y obtener un valor global representativo en decibelios. Generalmente, se basa en un número promedio por hora de vehículos

ligeros y pesados, adicionalmente la velocidad media o máxima a la que circulan. No obstante, cada modelo presenta diferentes consideraciones con respecto a las condiciones bajo las que podría estar una carretera (Arana, Vírghala, Aleixandre, Martín, & Vela., 2000).

2.4.1 Modelo alemán RLS90

Conocido como RLS90 utiliza niveles equivalente continuos para el día y la noche. Al momento de dividir las 24 horas del día entre día y noche, toma la franja horaria desde las 06:00 horas hasta las 22:00 horas y para el horario nocturno el nivel equivalente entre las 22:00 horas y las 06:00 horas.

Además, para el análisis del flujo vehicular con respecto a la velocidad, toma como referencia el valor de la velocidad máxima permitida. Establece valores por defecto en caso de no tener acceso a esa información. Para vehículos livianos establece 100 km/h y para pesados 80 km/h.

Entre las condiciones que tiene en consideración este modelo se encuentra la velocidad de circulación, las características de las superficies, el gradiente de la carretera y las reflexiones tempranas relativas a las superficies colindantes. La RLS90 establece valores por defecto de superficie asfalto liso y gradiente menor al 5%. El nivel equivalente se evalúa mediante la ecuación 7.

$$L_{A_{eq}} = 37.3 + 10 \text{ Log } (Q (1 + 0.082 P)) \text{ (dBA)}$$

(Ecuación 7) Expresión para el cálculo del LEQ en el modelo RSL90

Dónde:

Q: Densidad de tráfico, en veh/h.

P: Porcentaje de vehículos pesados (PMA>2.8 Ton), en %

En caso de utilizar valores distintos a los que señala el modelo por defecto se aplica un parámetro corrector que se puede observar en la ecuación 8.

$$D_v = L_{Ligeros} - 37.3 + 10 \text{ Log} \left[\frac{100 + (10^{0.1C} - 1)P}{100 + 8.23P} \right] (dBA)$$

(Ecuación 7.1) Cálculo del factor corrector al utilizar valores diferentes a los que indica el RSL90 por defecto.

$$L_{Ligeros} = 27.7 + 10 - \log \left[1 + (0.02V_{Ligeros})^3 \right]$$

(Ecuación 7.2) Cálculo del nivel de emisión de vehículos ligeros.

$$L_{Pesados} = 23.1 + 12.5 \text{ Log}(V_{Pesados})$$

(Ecuación 7.3) Cálculo del nivel de emisión de vehículos ligeros.

Dónde:

$$C = L_{Pesados} - L_{Ligeros}$$

$L_{Ligeros}$: Nivel de emisión de vehículos ligeros, en dBA.

$L_{Pesados}$: Nivel de emisión de vehículos pesados, en dBA.

$V_{Ligeros}$: Velocidad de vehículos ligeros, en Km/h.

$V_{Pesados}$: Velocidad de vehículos pesados, en Km/h.

$$L_{Aeq} = 37.3 + 10 \text{ Log} (Q (1 + 0.082 P)) + D_v (dBA)$$

(Ecuación 8) Expresión corregida para el cálculo del LEQ en el modelo RSL 90.

En la ecuación 8 se puede observar la ecuación final para determinar el nivel equivalente de una carretera, incluyendo el factor de corrección si se utilizan valores diferentes a los predeterminados por el modelo RSL 90.

2.4.2 Modelo Ingles CORTN

Conocido como CORTN, es una metodología resumida donde el nivel representativo de la carretera se refleja en el percentil 10 (L10), para la hora más ruidosa y para un intervalo de medición de 18 horas.

$$L_{10}(1h) = 42.2 + 10 \text{ Log}(q) \text{ (dBA)}$$

(Ecuación 9) Cálculo del percentil 10 para la hora más ruidosa.

$$L_{10}(18h) = 29.1 + 10 \text{ Log}(Q) \text{ (dBA)}$$

(Ecuación 10) Cálculo del percentil 10 en 18 horas.

Dónde:

q: número de vehículos por hora

Q: número de vehículos en 18 horas

Así mismo, para el análisis del flujo vehicular entre pesados y ligeros y busca la velocidad máxima permitida en conjunto, por defecto el modelo establece una velocidad de 75 km/h.

Para velocidades diferentes a la que indica por defecto se debe realizar la corrección que señala la ecuación 11.

$$C_{v,p} = 33 \log \left(V + 40 + \frac{500}{V} \right) + 10 \text{ Log} \left(1 + \frac{5P}{V} \right) - 68.8 \text{ (dBA)}$$

(Ecuación 11) Calculo de la corrección al usar valores diferentes a los que señala la CORTN.

Dónde:

V = velocidad del flujo de tráfico en Km/h.

P = proporción de vehículos pesados en %.

Entre los parámetros a corregir considera la velocidad de circulación, la superficie de la carretera y su pendiente

2.4.3 Modelo Nórdico SP96

Conocido como SP96, trabaja con un valor equivalente continuo de las 24 horas del día, además para analizar el flujo vehicular utiliza la velocidad promedio en el rango temporal de medición.

Las variantes *in situ* que considera a parte de la velocidad media son la superficie y la gradiente. (Arana, Vírgala, Aleixandre, Martín, & Vela., 2000)

Los valores que establece por defecto son:

- Asfalto denso, liso, con más de 1 año de antigüedad, con máximo tamaño de lámina de 12-16mm.
- Temperaturas entre 10° y 20°.
- Variación de 0,1dB/°C.

2.4.4 Norma ISO 1996-2

La normativa ISO 1996 define la descripción, medición y evaluación del ruido ambiental, específicamente la parte 2 se enfoca en la determinación de los niveles de ruido ambiental. (ISO1996-2, 2009)

Evalúa las diferentes fuentes de generación de ruido ambiental, entre ellas el tráfico rodado y establece los parámetros fundamentales para poder entregar resultados reproducibles.

Para la determinación de las condiciones meteorológicas idóneas para realizar mediciones, establece las condiciones favorables para la propagación del sonido según una matriz de parámetros.

Además, una de las partes más fundamentales de la normativa es el procedimiento de medición. El mismo que detalla a fondo todas las consideraciones que se deben tener en campo abierto.

2.4.5 Norma EN 1793-3

Esta normativa está orientada en los dispositivos reductores de ruido de tráfico, tomando en cuenta que los comportamientos de dichos dispositivos dependen de la frecuencia y define lineamientos normalizados para definir el ruido de tráfico en un espectro normalizado para el análisis. (EN1793-3, 1998)

Tabla 1

Espectro normalizado de tráfico. Adaptado de: ISO 1796-3:1997

f (Hz)	Li (dB)
100	-20
125	-20
160	-18
200	-16
250	-15
315	-14
400	-13
500	-12
630	-11
800	-9
1000	-8
1250	-9
1600	-10
2000	-11
2500	-13
3150	-15
4000	-16
5000	-18

En la tabla 1 se puede observar el espectro normalizado para ruido de tráfico rodado establecido por la normativa ISO 1796 parte 3.

2.5 Estándares máximos recomendados para ruido ambiental por tráfico rodado

Los niveles equivalentes de ruido a los que están expuestas las personas, determinan su calidad de vida y la calidad de su desempeño. Por lo tanto, es de suma importancia el desarrollo de legislaciones que regulen las emisiones acústicas y determinen niveles máximos permitidos (Colombia, 2006)

Para determinar dichos niveles se toma como referencia las franjas horarias del día y de la noche, con el objetivo de fijar los parámetros de regulación a las condiciones en las que el ruido se genera. Además, es importante definir los niveles máximos en función del uso del suelo, entiéndase uso de suelo como actividades que se realizan en el predio.

No obstante, Ecuador, carece de recursos legislativos para poder validar investigaciones con respecto a contaminación acústica, por este motivo, se utiliza como referencia la resolución 627 del Ministerio del Ambiente de Colombia.

En la tabla 2, se puede observar los niveles equivalentes máximos permitidos, según el Ministerio del Ambiente de Colombia.

Tabla 2

Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido.

Tomado de (Colombia, 2006)

Sector	Subsector	Estándares máximos dBA	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y silencio.	Hospitales bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	50
Sector B. Tranquilidad y Ruido moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	55
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	75
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	60
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	55
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre,	80	75

	áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre.		
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	50
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

2.6 Métodos de control de ruido por tráfico rodado

Existe un sin número de variables que influyen en la intensidad y propagación del ruido de tráfico rodado, que incluyen a la fuente de ruido, en el medio de propagación de sonido y en el receptor. Por este motivo, existen varios métodos para mitigar el impacto acústico que produce una carretera.

2.6.1 Barreras acústicas

Una barrera acústica, es una estructura exterior que se muestra como un obstáculo en la propagación del sonido. Como dispositivo acústico para controlar el ruido, su principal propiedad es la atenuación de los niveles de presión sonora emitidos por una fuente, generalmente son: carreteras, líneas férreas, etc. La atenuación se da, en su mayoría, por difracción del sonido, es decir, interrumpe el rayo directo del sonido y genera una sombra acústica con un ángulo y una atenuación que depende de la frecuencia.

La normativa ISO9613, establece que para que un objeto obstruya la propagación del sonido, debe cumplir con ciertas propiedades físicas.

- Densidad superficial mayor a 20 kg/m².
- El objeto no presenta agujeros o aperturas.
- La dimensión horizontal es mayor a la longitud de onda de la frecuencia de interés.

En la figura 4, se puede observar el efecto que causa una barrera acústica. En la zona iluminada, se encuentra toda la energía directa que emite la fuente. En la zona de penumbra, está la mayor parte de la energía difractada. La zona de sombra es la zona de mayor importancia, debido a que, es el sector donde la energía es tan débil que ya no es percibida.

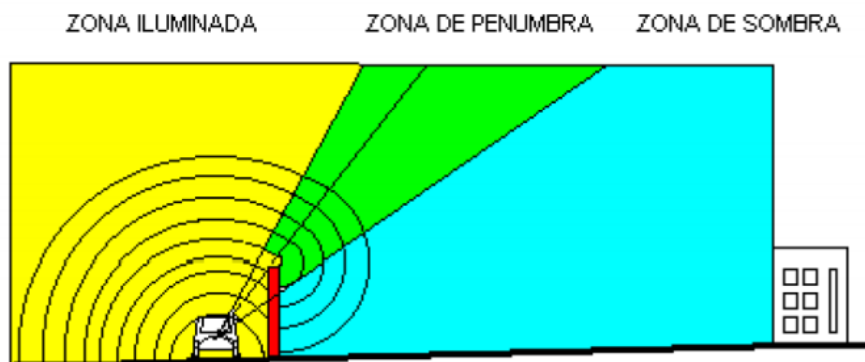


Figura 4. Funcionamiento de una barrera acústica.

Tomado de (Caloryfrio, 2019)

La ecuación 12, presenta la interpretación matemática para definir la pérdida por inserción. Es la variación de nivel de presión sonora que existe al insertar la barrera acústica, es decir, la diferencia entre el nivel de presión antes (SPL_1) y después (SPL_2) en determinada frecuencia. Además, la pérdida por inserción puede incrementarse con la geometría superior de la barrera.

$$IL = SPL_1 - SPL_2 \text{ (dBA)}$$

(Ecuación 12) Pérdida por inserción

$$TL = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right) ; \tau = \frac{E_t}{E_i}$$

(Ecuación 13) Pérdida por transmisión

Donde:

E_i : Es la energía incidente en un obstáculo.

E_t : Es la energía transmitida a través de un obstáculo.

τ : Es la relación entre la energía incidente y la energía transmitida.

TL: Es la pérdida por transmisión en dBA.

Aunque, la barrera acústica está diseñada para que la mayoría de la atenuación sea por inserción, existe pérdida por transmisión, que está en función de la razón entre la energía total y la energía incidente en la superficie, como explica la ecuación 13.

Debido a que, el funcionamiento de una barrera está en función de la altura y que esto representa costo en diseño e impacto estético, existen ciertas recomendaciones para su diseño.

- Determinar una altura coherente, con respecto a costo y beneficio.
- Es mejor estar lo más cerca de la fuente como sea posible.
- La longitud debe ser suficiente.
- Se debe evitar las reflexiones no deseadas.
- La atenuación máxima por banda de octava debe ser 24dB.

2.6.1.1 Cálculo de atenuación por Fresnel

La atenuación de una barrera acústica se puede calcular mediante el número de Fresnel, que es utilizado en el análisis de la difracción de las ondas electromagnéticas.

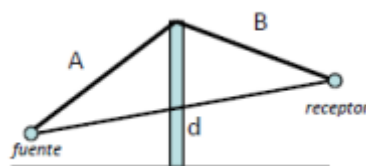


Figura 5. Barrera acústica entre fuente y receptor.

Tomado de (LabioFísica, 2019)

$$AT = 20 \log \left(\frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} \right) + 5$$

(Ecuación 14) Cálculo de la atenuación de una barrera acústica.

$$N = \frac{2}{\lambda} (A + B - d)$$

(Ecuación 15) Número de Fresnel.

Donde:

N es el número de Fresnel.

λ es la longitud de onda de la frecuencia.

A es la distancia entre la fuente y la barrera.

B es la distancia entre la barrera y el receptor.

d es la altura de la Barrera.

La ecuación 14 funciona para valores de N que están entre -0.2 y 12.7, en caso de obtener un N por debajo de -0.2, la atenuación será igual a 0.

El signo de A+B es relativo a la posición del observador, positivo si el observador está del lado del receptor y negativo si el observador está del lado del emisor.

2.6.1.2 Barreras acústicas finitas

En un caso real, existen 3 flancos por donde la barrera acústica atenuaría. Para el cálculo de una barrera finita, se analiza la atenuación en cada arista utilizando la ecuación 14 y 15.

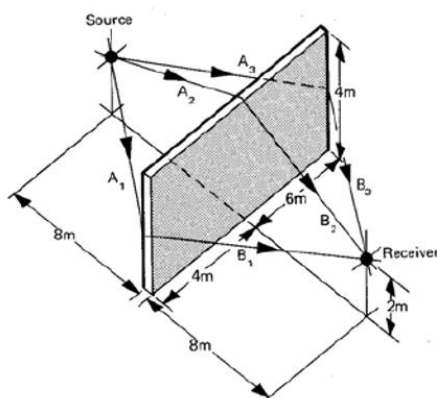


Figura 6. Barrera acústica finita.

Tomado de (dBcover, 2019)

$$AT_{total} = 10 \log(AT_1 + AT_2 + AT_3) \text{ (dBA)}$$

(Ecuación 16) Cálculo de una barrera acústica finita.

Donde:

AT1 Es la atenuación por el flanco derecho.

AT2 es la atenuación por el flanco superior.

AT3 es la atenuación por el flanco izquierdo.

ATtotal es la atenuación total de la barrera.

Para determinar el valor global de los 3 flancos se emplea la ecuación 16. En función de la interpretación de la figura 6 se calculan las 3 atenuaciones y se suman energéticamente.

2.6.2 Ventanas dobles

En el análisis del aislamiento acústico en un domicilio, uno de los parámetros más importantes, es identificar la superficie predominante y el elemento constructivo con características de reducción acústica más débil.

Un elemento constructivo, utilizado para cubrir huecos en fachadas, en una ventana. Aporta estética y entrada de luz, no obstante, es uno de los puntos de aislamiento acústico más débiles. En problemas de ruido externo, como por ejemplo el tráfico, una de las soluciones más viables es la instalación de sistemas de ventana doble.



Figura 7. Sistema de doble vidrio hermético.

Tomado de (Reynalco, 2019)

El sistema de venta doble o doble vidrio hermético, consiste en un vidrio simple, una cavidad de aire y un vidrio laminado. Este modelo, aporta una sensación de reducción sonora entre 40% y 70%.

Las especificaciones de este sistema vienen dadas de la forma: $a/b/c+c$. Donde, a es el espesor en milímetros del vidrio simple, b es el espesor en milímetros de la cámara de aire y c el espesor en milímetros de cada lamina del vidrio laminado.

2.6.2.1 Aislamiento acústico en fachada mixta

Una fachada mixta simple, esta compuestas por una parte ciega y por una ventana. El índice de reducción acústica del sistema está condicionado por el

elemento constructivo más débil, generalmente la ventana. No obstante, la reducción acústica de la fachada mixta no puede superar el índice de reducción acústica de la parte ciega.

A partir del análisis matemático desarrollado por (César Díaz Sanchidrián, 2008), se puede desarrollar la expresión que permita calcular el índice global de reducción acústica de una fachada mixta. Como se observa en la ecuación 17, el cálculo se encuentra en función de las superficies e índices de reducción, de la ventana y la superficie ciega.

$$R_m = 10 \log \left[\frac{10^{0.1(R_v + R_c)} * S_t}{10^{0.1R_c} * S_v + 10^{0.1R_v} * S_c} \right] dBA$$

(Ecuación 17) Cálculo del nivel global de reducción acústico para fachada mixta.

Donde:

R_m: es el índice global de reducción acústica calculado de la fachada mixta.

R_v: es el índice global de reducción acústica de la ventana (dBA).

R_c: es el índice global de reducción acústica de la parte ciega (dBA).

S_v: es la superficie que cubre la ventana (m²).

S_c: es la superficie que cubre la ventana (m²).

S_t: es la superficie total de la fachada mixta en (m²).

2.6.2.2 Índice global de reducción acústica (R)

Un parámetro importante, en un elemento constructivo, es el índice global de reducción acústica, que es, la valoración del aislamiento acústico de un elemento.

Es fundamental, considera que, generalmente, este parámetro es obtenido en condiciones de laboratorio y el ensayo se realiza en cámaras de transmisión que impiden que se evalúe ruido de fuentes externas.

Además, existe el RA_{tr} , que es el índice global de reducción acústica, en ponderación A, para ruido de tráfico rodado, en fachadas y cubrimientos.

2.6.3 Control de velocidad

Los modelamientos de predicción de tráfico rodado, como el RLS90, tienen como datos de entrada el flujo vehicular por hora y la velocidad promedio o máxima de circulación para vehículos ligeros y pesados. (Oberreuter, 2012).

La variación del nivel de presión sonora equivalente se reduce al variar la velocidad de circulación de los vehículos que transitan por una carretera determinada. Básicamente existen dos formas de disminuir este nivel. La primera, resulta de variar el flujo vehicular y la segunda consiste en adecuar la velocidad de circulación. No obstante, como se pudo observar en la ecuación 7, el nivel calculado en el modelo RLS90, es directamente proporcional a la variación del porcentaje de vehículos pesados y, además, en la ecuación 8, se puede ver que, al realizar el cálculo del nivel equivalente, la variación de la velocidad en los vehículos pesados más significativa que la variación de la velocidad de los vehículos ligeros.

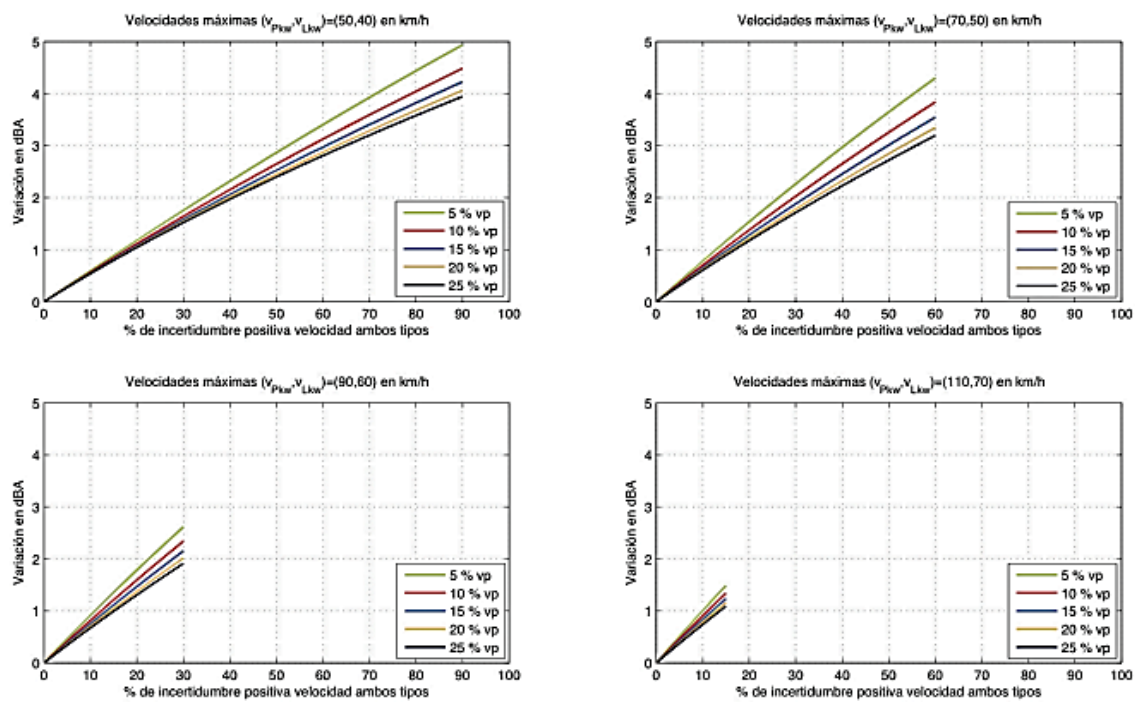


Figura 8. Variación de nivel equivalente (dBA) en función de la incertidumbre de la velocidad del flujo vehicular.

Tomado de (Oberreuter, 2012).

En la figura 8, se puede observar los resultados de una investigación acerca de la disminución del nivel equivalente en función de la velocidad del flujo vehicular. Se puede observar que, a menor velocidad máxima, la variación del nivel equivalente es mayor. Además, el porcentaje de vehículos pesados influye en el comportamiento de los resultados, es decir, cuando el porcentaje se incremente la curva presenta una variación menor.

Por lo tanto, en casos de control de ruido por tráfico rodado, regular la velocidad y el flujo vehicular, es una clara alternativa para mitigar el ruido de una carretera. En comparación con otros métodos de control de ruido, esta solución es la que menos recursos económicos requiere.

Tipo de vía	Límite máximo (km/h)	
	Ligeros	Pesados
Urbana	50	40
Perimetral	90	70
Rectas en carreteras	100	90
Curvas en carreteras	60	50

Figura 9. Límite máximo de circulación en función del tipo vía y tipo de vehículo.

Tomado de (ANT, 2019)

Los parámetros de que se observan en la figura 9, son velocidades de circulación determinadas por la Agencia Nacional de Tránsito. No obstante, en sectores como, cruce de peatones en colegios y escuelas, existe una restricción para la velocidad máxima de circulación de 20km/h, independiente del tipo de vehículos.

2.7 Encuestas socio-acústicas

La evaluación del grado de molestia de una comunidad, es un tipo de investigación cualitativa que requiere el diseño de una encuesta social para comparar. Entre las múltiples variables, la percepción de un conjunto de personas y poder identificar tendencias o sectores vulnerables.

En el caso de los problemas de molestias por ruido, es necesario, levantar información cualitativa para poder determinar niveles de presión equivalentes que sean representativos del caso de estudio. No obstante, al tratarse de un problema de molestia, entra al campo de la subjetividad, es decir, la opinión de la comunidad frente a este problema.

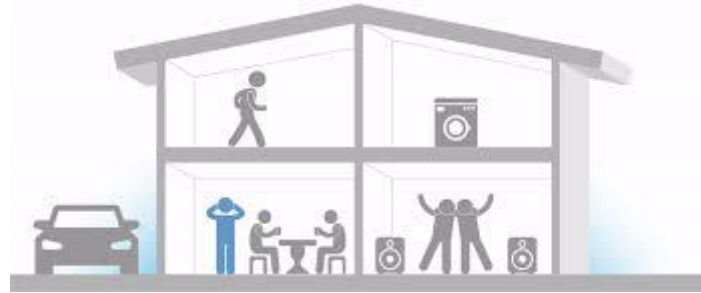


Figura 10 Casos de molestia por ruido de tráfico rodado.

Tomado de (dBcover, 2019)

Existen casos en los que se encuentran altos niveles de ruido, pero la comunidad no presenta molestia. Por el contrario, existen casos con niveles de presión equivalente por debajo de los máximos permitidos, pero, que existe molestia por parte de la comunidad. Por este motivo, es necesario, el levantamiento de información cualitativa mediante el diseño de encuestas socio-acústicas, que verifiquen si existe o no molestia por el problema que se plantee y además el grado de significancia que esto representa en su día a día (Victor H. Lobos Vega, 2008).

Para el desarrollo de encuestas socio-acústicas, existe la normativa ISO/TS15666, que detalla preguntas sobre molestia por ruido, aspectos fundamentales para el diseño de una encuesta. Además, se limita al análisis del impacto en "hogares". (ISO/TS15666, 2003)

2.8 Ponderación A

Los resultados acústicos, frecuentemente, están presentados en decibeles, la unidad de representación de niveles de presión sonora. No obstante, el oído humano, no presenta una sensibilidad igual para todo el espectro. La ponderación A, es un método que permite ajustar los resultados, de una investigación o experimento, al comportamiento del oído humano.

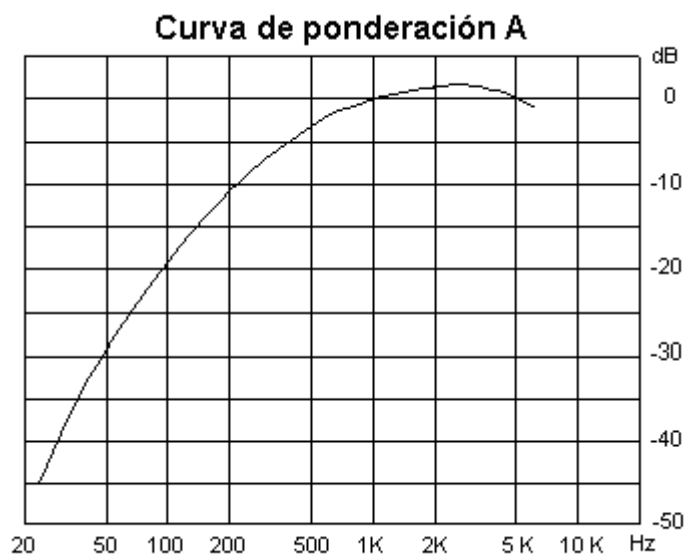


Figura 11. Curva de ponderación A.

Tomado de (LabioFisica, 2019)

La curva que se observa en la figura 11, presenta las correcciones para cada banda de octava que se deben realizar para expresar los resultados en ponderación A. Los valores deben ir acompañados por la letra A seguido de la unidad de nivel de presión (dBA).

3. Metodología

La siguiente investigación es de carácter cuantitativo y cualitativo, debido a que, desarrolla un modelo digital del caso de estudio para evaluar los niveles de exposición en las residencias del conjunto y, por otro lado, explora las opiniones de los habitantes de este sector sobre la molestia que sienten con respecto a la extensión de la Avenida Simón Bolívar.

Los parámetros analizados fueron los niveles acústicos equivalentes del día y la noche, el porcentaje y grado de molestia en los encuestados.

A partir de dichos parámetros, se diseñaron 3 alternativas de mitigación al ruido por tráfico rodado, tomando los principales elementos dentro de un problema de control de ruido, que son: la fuente, el medio y el receptor.

3.2 Modelo digital

El modelo digital, desarrollado en CadnaA, se diseñó con los datos obtenidos de mediciones *in situ*, apoyadas en la normativa internacional ISO 1993-2, información sobre la carretera y conteos vehiculares, facilitados por la Secretaría de Movilidad del Municipio de Quito y datos correspondientes al sector, que disponía la Universidad de Las Américas.

Además, se optó por utilizar el modelo de predicción de tráfico rodado RLS 90, debido a que es el más adecuado para modelar casos de tráfico urbano. (Luis Bravo Moncayo, 2019).

3.2.1 Instrumentación

En este apartado se detalla el equipamiento utilizado en las mediciones *in situ*, el desarrollo de las encuestas y en el diseño del modelo digital.

- Sonómetro Cesva 310
- Sonómetro NTI Audio
- Pc Laptop
- Contadores manuales
- Radar de velocidad
- Software CadnaA
- Software SPSs

3.2.2 Levantamiento de información cartográfica

En primer lugar, se obtuvo el mapa del sector Jardines de Carcelén desde Open Street Maps, cuyas propiedades incluían las avenidas y las edificaciones del condominio (véase figura 12).

altura del terreno cada 10 metros. No obstante, las curvas fueron ajustadas a las mediciones consideradas en la figura 13.

3.2.3 Comportamiento del ruido en la Av. Simón Bolívar

En el estudio del comportamiento del ruido en la avenida, se realizaron 2 mediciones continuas de 24 horas. De esta manera se pudo identificar la dinámica de los niveles de emisión de ruido de la carretera y las diferencias que pueden existir entre los días de la semana y el fin de semana.

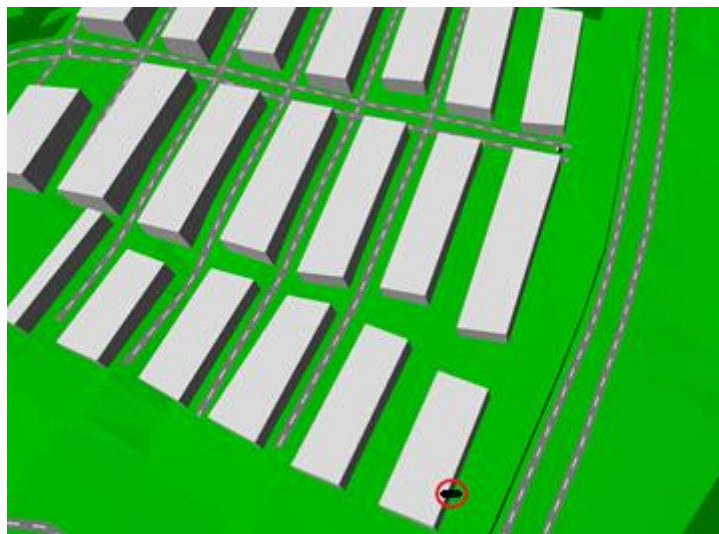


Figura 14. Posición del receptor para la medición de larga duración.

Para las 2 mediciones de 24 horas, se coordinó con la administración del conjunto para que los vehículos de servicio de lavandería y gas a domicilio no interfirieran con las mediciones. De igual manera, se restringió el paso de cuadrones y vehículos de entretenimiento cerca del micrófono del sonómetro, mientras duran las mediciones, con el fin de obtener en lo posible únicamente los niveles sonoros que provienen de la avenida. La posición de la medición se puede observar en la figura 14.

3.2.4 Conteo de Vehículos

En el desarrollo del método de predicción de tráfico rodado RLS 90 es necesaria la información del flujo vehicular de la vía que se está analizando.

La Av. S.B. es de doble sentido y que por ella transitan tanto vehículos ligeros como pesados. El revestimiento de la vía es de asfalto y la velocidad máxima de circulación para vehículos ligeros es de 60 km/h y para vehículos pesados es de 40km/h. Esto según la información de la Secretaria de Movilidad.



Figura 15 Ubicación del contador del Distrito Metropolitano de Quito.

Tomado de (Google maps,2019).

La Secretaría de Movilidad del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, contaba con la información de conteos continuos, cada hora y durante 15 días, realizados durante el año de 2018. Como se ve en la figura 15, existe un desvío en la carretera entre el contador vehicular y el sitio de estudio. Sin embargo, se asumió que el flujo que se resta en la vía, de sentido sur-norte, se compensa con el flujo que entra el sentido norte-sur.

En la figura 16 se puede observar la dinámica del flujo vehicular para un periodo de 24 horas, según los datos proporcionados por la Secretaria de Movilidad. Las curvas representan el promedio lineal por hora del flujo vehicular de la Avenida Simón Bolívar. La línea azul es referente al flujo de lunes a viernes en el sentido

Norte- Sur. La línea rosa entrecortada corresponde al flujo entre semana en el carril Sur – Norte. La curva verde punteada es el flujo de fin de semana en el sentido Norte – Sur. La curva verde segmentada es el flujo de fin de semana en el sentido Sur - Norte.

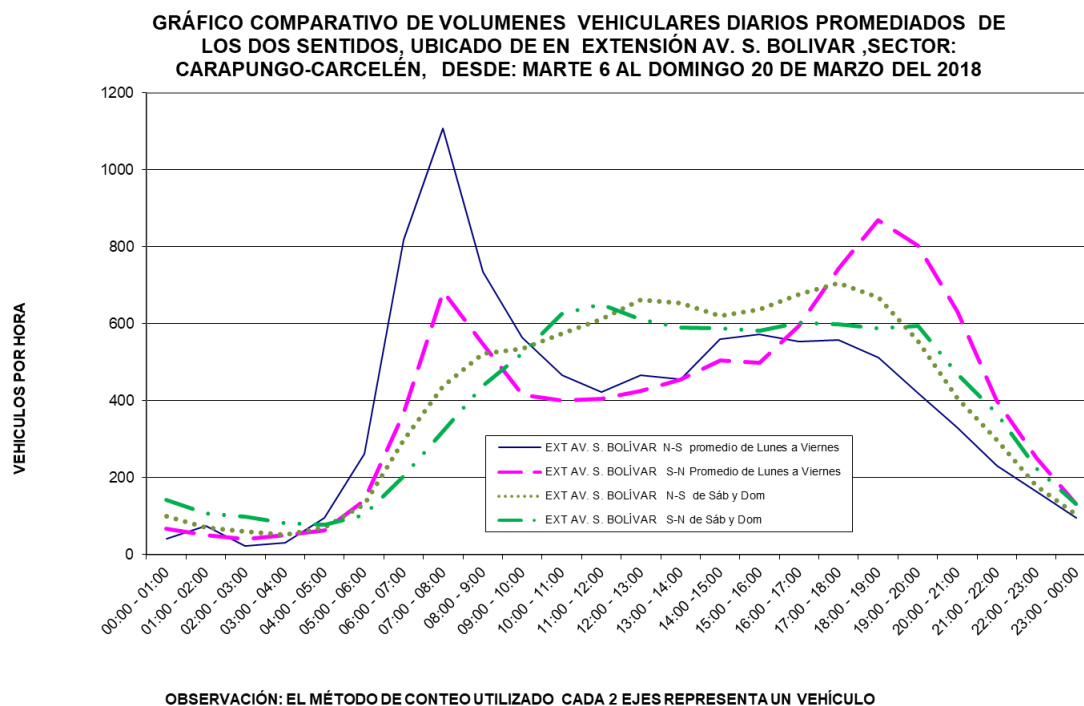


Figura 16. Resumen del conteo continuo de vehículos.

Tomado de (Secretaría de movilidad, 2018).

En la figura 17, se puede observar la distribución del flujo total vehicular en ambos sentidos para cada día de medición. Además se observó que el número de vehículos por hora de los dos sentidos son muy similares y que el comportamiento es similar entre semana y el fin de semana.

CUADRO COMPARATIVO DEL FLUJO VEHICULAR TOTAL DIARIO, DE LOS DOS SENTIDOS UBICADO EN EXTENSIÓN AV. S. BOLIVAR SECTOR: CARAPUNGO-CARCELÉN, FECHA: MARTE 6 AL DOMINGO 20 DE MARZO DEL 2018

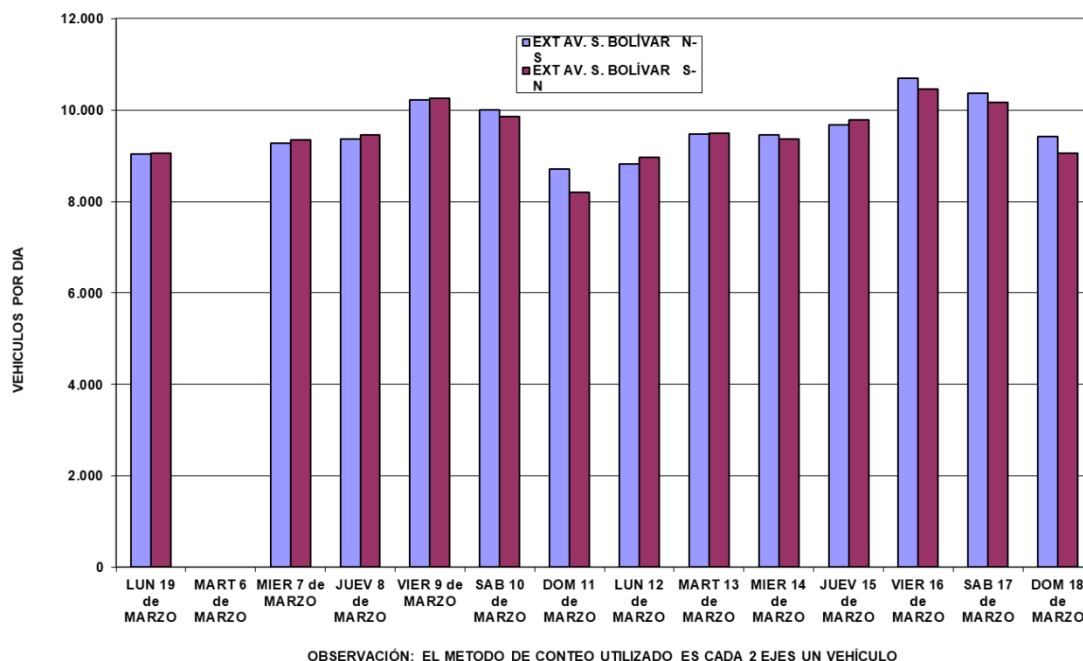


Figura 17. Comparación de flujo vehicular entre los sentidos N-S y S-N por parte del municipio Metropolitano de Quito.

Tomado de (Secretaría de movilidad, 2018).

3.2.5 Mediciones de validación

Para validar los cálculos del modelo digital, se realizaron mediciones de corta duración, en donde, se obtuvo el nivel de presión sonora equivalente en un periodo temporal de 15 minutos. Se consideraron 16 puntos de medición en las cercanías de la avenida, los cuales se ubicaron como receptores en el modelo digital. Como ya se comentó todos los parámetros de medición están bajo el criterio de la normativa ISO 1996-2.

En la figura 18 se puede observar la distribución de los puntos de medición.

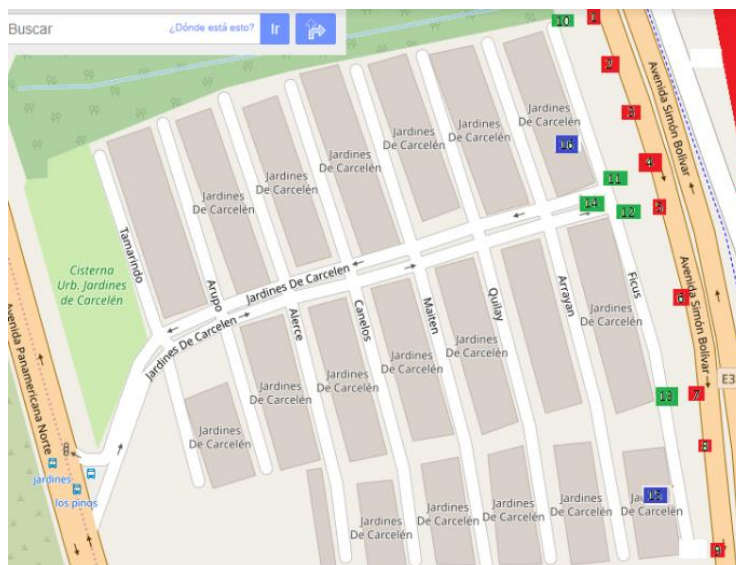


Figura 18. Posición de mediciones de validación.

Además, en cada medición se realizó el conteo vehicular para estimar el porcentaje de vehículos pesados. Las mediciones se realizaron bajo condiciones meteorológicas normales, como se ve en la tabla 3.

De igual manera la distancia a superficies reflectantes, altura y hora de las mediciones constan en el Anexo 1A.

Tabla 3

Condiciones climatológicas

	Condiciones meteorológicas
Temperatura °C	24
Humedad	76%
Velocidad del viento (km/h)	12
Visibilidad (km)	10

3.2.6 Flujo vehicular y porcentaje de vehículos pesados

Para determinar el flujo vehicular para el día y la noche, se tomaron 2 franjas horarias, según el modelo RSL 90. La primera de 07:00h a 22:00h y otra de 06:00h hasta las 22:00h. Se realizó un promedio para cada franja horaria con los

datos que se obtuvieron de cada sentido de circulación de la avenida. Además, se obtuvo la distribución porcentual en cada carril.

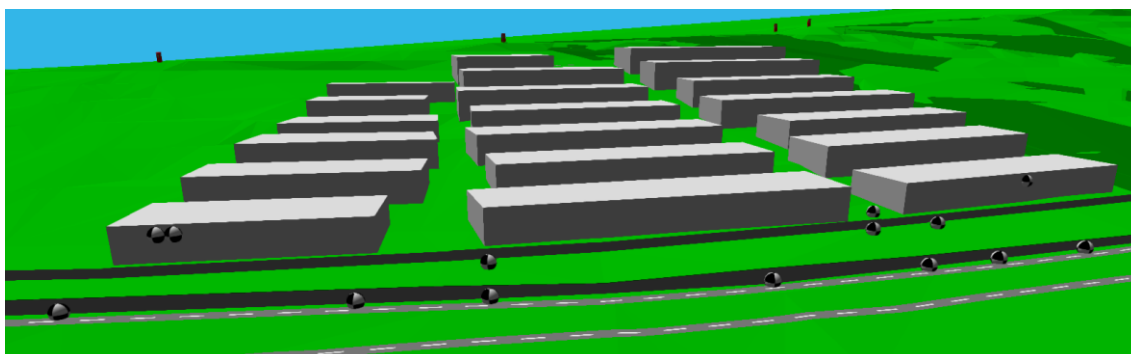


Figura 19. Modelo digital en el software CadnaA.

A partir de los conteos realizados en las mediciones de validación, se obtuvo un promedio aproximado de los vehículos pesados que transitan en el día por la carretera. Para estimar el porcentaje de vehículos pesados durante la noche, se realizaron 8 conteos de 15 minutos de duración, entre las horas correspondientes al horario nocturno.

Tabla 4

Promedio temporal de número de vehículos y distribución porcentual en los 2 sentidos.

	Horario	Sentido N-S	Sentido S-N	Dist% N-S	Dist% S-N
Ld	07:00h a 22:00h	530	559	49%	51%
Ln	22:00h a 06:00h	178	129	58%	42%

Como se observa en la tabla 5 y 6, se realizó una relación entre los datos de los conteos continuos y la información que se obtuvo en las mediciones de validación. A partir de las mediciones in situ, se obtuvo un promedio porcentual de vehículos pesados para el día de 18% y para la noche de 11%. Con la información de la Secretaria de Movilidad, se determinaron las velocidades de circulación. Además, como se ve en la tabla 4, se realizó un promedio lineal del flujo de los vehículos, para las franjas horarias que define el modelo RSL 90.

Tabla 5

Cruce de variables entre mediciones in situ y conteos del Municipio Metropolitano de Quito sentido N-S.

Sentido N-S				
	Total vehículos	% Pesados	v_ligeros (km/h)	v_pesados(km/h)
Ld	530	18%	60	40
Ln	178	11%	60	40

Tabla 6

Cruce de variables entre mediciones in situ y conteos del Municipio Metropolitano de Quito sentido S-N.

Sentido S-N				
	Total vehículos	%Pesados	v_ligeros (km/h)	v_pesados(km/h)
Ld	559	18%	60	40
Ln	129	11%	60	40

3.2.7 Validación y ajuste del modelo digital

Para la validación del modelo digital se tomaron las mediciones de corta duración y acorde a la tabla 4, se obtuvo la distribución porcentual en cada sentido de la carretera. Para el porcentaje de vehículos pesados, se ingresaron los valores registrados en cada medición.

Para ajustar el modelo digital se analizaron las variables que pueden influir en la propagación del sonido, tales como: absorción del terreno, absorción de los edificios y absorción del cerramiento del conjunto.

El software Cadnaa cuenta con valores de absorción, entre los cuales existe el coeficiente de absorción bajo definido en 0.2 para todo el espectro. El mismo, fue utilizado para la absorción de los edificios debido a que fue el que más se acercó a la absorción de hormigón enlucido.

De igual manera, Cadnaa permite ingresar un valor único de absorción para el terreno y por motivos de acercar las mediciones in situ a los cálculos del programa, se definió la absorción del terreno en 0.6.

Además, se determinó que la absorción del cerramiento es indiferente a la propagación del sonido.

3.2.8 Mapa de ruido del caso de estudio

A partir de todos los registros del modelo digital, se realizó una malla de cálculo para el caso de estudio. Por toda la superficie se distribuyeron receptores a una altura de 4 metros. Además, la malla estuvo configurada con receptores distanciados 1 metro entre cada uno, distribuidos por toda la superficie. Todo esto en función de los criterios de diseño tomados en el desarrollo del mapa de ruido de la ciudad de Quito (Luis Bravo Moncayo, 2019).

No obstante, se realizó una segunda malla a 7 metros de altura y de esta manera evaluar los niveles de presión sonora más elevados. Además, verificar que la simulación este concatenada con la teoría, es decir, que al subir la malla se debería ver una disminución en el nivel equivalente.

3.3 Encuesta

En el desarrollo del análisis de impacto acústico, se diseñó una encuesta que permita determinar los parámetros cualitativos de esta investigación. Se utilizó la normativa ISO/TS 15666, que proporciona especificaciones para las encuestas socio-acústicas.

La encuesta está dividida en 3 etapas. La primera, contiene datos generales del encuestado como el género, la edad, entre otros. En esta etapa se realizó una división interna en el conjunto para analizar la molestia que tienen los moradores de acuerdo a la ubicación de su vivienda. Se clasificaron los sectores A, B y C, como se puede observar en la figura 20.

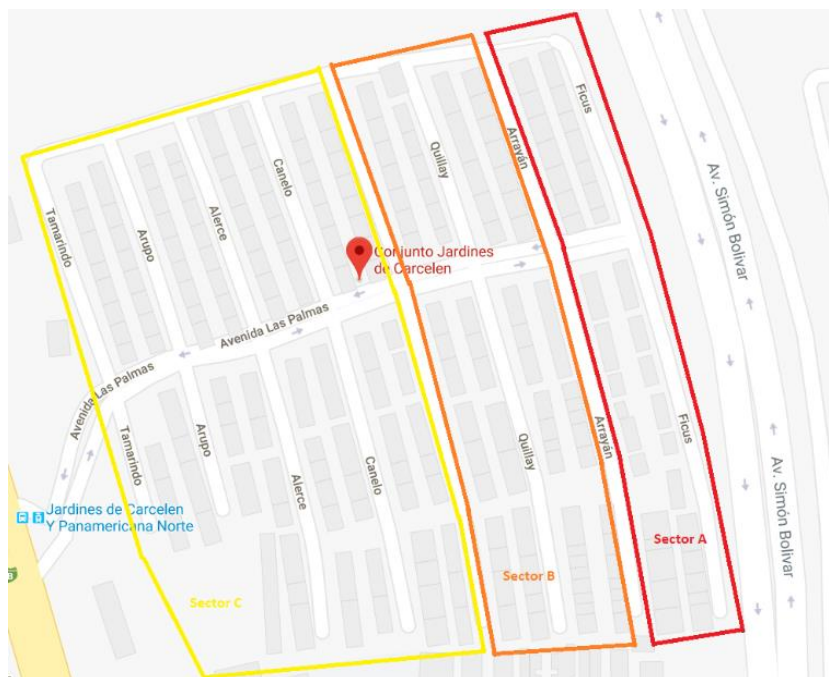


Figura 20. División del Conjunto Jardines de Carcelén.

En la segunda etapa de la encuesta, se realizó un sondeo general sobre la molestia y la importancia que le da el encuestado al ruido en su vida cotidiana. Finalmente, en la tercera etapa, se evalúa el grado de molestia del encuestado relativo a la extensión de la Avenida Simón Bolívar. Además, cuenta con una pregunta sobre si estaría o no dispuesto a invertir económicamente en el desarrollo de una solución a su molestia, en caso de que existiera.

3.4 Diseño de propuestas de mitigación

A partir de la información que se obtuvo en el modelo digital y las encuestas, se propusieron soluciones coherentes a las necesidades de los encuestados y a los niveles equivalente de la Av. Simón Bolívar.

Además, al hablar de niveles equivalentes máximos recomendados, se hace referencia a la resolución 627 del Ministerio del Ambiente de Colombia. Esto,

debido a que en Ecuador no existe una legislación de referencia para desarrollar investigaciones de este tipo.

3.4.1 Control de velocidad

Una propuesta de mitigación, tomando en consideración la fuente, es el control de velocidad del tráfico de la extensión de la Avenida Simón Bolívar. A raíz de la información de la empresa ecuatoriana de seguridad vial SES, el Código de Tránsito de Colombia y la revista española DGT, se establecieron escenarios de reducción de la velocidad del tránsito vehicular.

En la ecuación 8, se puede observar que, si se evalúan diferentes velocidades para vehículos pesados y ligeros, se obtendrá una variación en el nivel equivalente.

3.4.2 Barrera acústica

El conjunto cuenta con un cerramiento de hormigón y además la administración pretende elevar su altura por cuestiones de seguridad. Debido a esto, se propuso realizar la optimización de este cerramiento. Desde el punto de vista acústico funcionaría como una barrera acústica. Se evaluó el comportamiento de esta estructura en función de la variación de su altura.

En la ecuación 14, se puede observar que, para modificar la atenuación por Fresnel, se debe variar las distancias del receptor y el emisor a la barrera. Debido a que, en este caso, dichas variables son constantes, se realizó la modificación secuencial de la altura.

3.4.3 Vidrio doble

Como medida de control de ruido en el receptor, se ha considerado evaluar el efecto que tendría reemplazar las ventanas existentes por un sistema de vidrio

doble. De esta manera es posible mejorar el nivel global de aislamiento a ruido de tráfico rodado en la fachada. La decisión de instalar estos elementos dependerá de cada propietario. No obstante, las ventanas a tratarse dependieron de los resultados de las condiciones iniciales en los receptores.

Para el análisis de la fachada y la obtención de resultados, se utilizaron las medidas de las ventanas para determinar la superficie de ventana. Para establecer la superficie ciega, se tomó la medida de la fachada y se le restó la superficie de ventana. De esta manera se pudo realizar el análisis del comportamiento de la fachada según la ecuación 17.

4. Resultados

En este apartado, se exponen los resultados de la investigación, cuantitativa y cualitativa realizada para evaluar el impacto acústico de la extensión de la Av. Simón Bolívar, en el caso de estudio.

4.1 Modelo digital

A partir de la información que se obtuvo en el desarrollo de la investigación, se generó el modelo digital del caso de estudio.

4.1.1 Comportamiento del ruido en la Avenida Simón Bolívar

Se ubicó el punto de medición en una de las casas más cercanas a la carretera. De esta manera, se evaluó el peor escenario al cual estaría expuesto el condominio. Cabe destacar que, el domicilio se encontraba deshabitado.

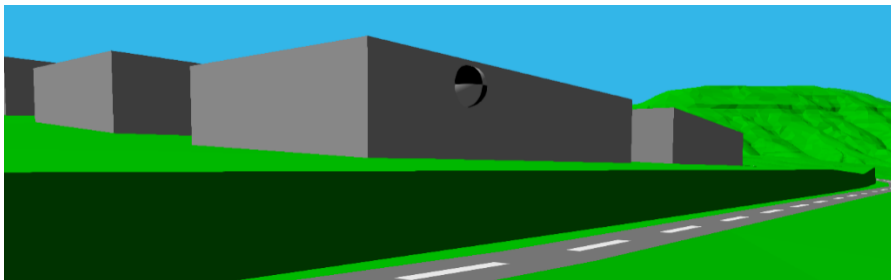


Figura 21. Altura de las mediciones de larga duración.

Finalmente, se tomó como punto de medición el segundo piso (el punto más alto de la casa) a una altura relativa de 7.1 metros para el sonido que viene directamente de la avenida. Cabe resaltar que, esta altura fue determinada para evaluar una situación crítica y que no tiene nada que ver con las alturas definidas en las mallas de cálculo para los mapas de ruido.

En la figura 22, se observa la variación del nivel equivalente (dBA) durante 24 horas, para un día entre semana y otro en fin de semana. Estos resultados corresponden a las mediciones que evalúan el comportamiento del ruido en la Avenida Simón Bolívar y fueron realizadas in situ.

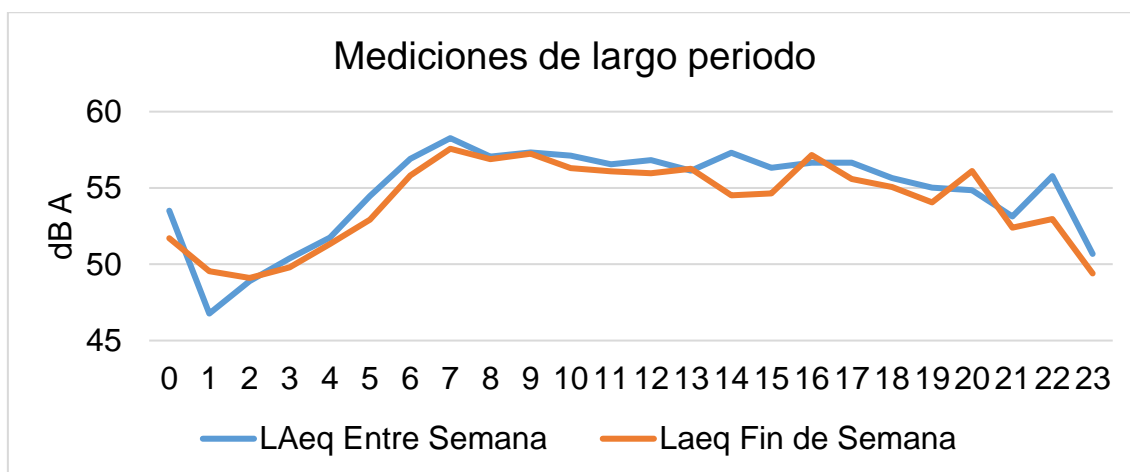


Figura 22. Resultados de las mediciones de largo periodo.

A partir de las 7 horas se observó que el comportamiento del nivel equivalente, emitido desde la carretera hacia el receptor es aproximadamente 57dBA. Además, la curva de nivel para fin de semana y entre semana, tiene variaciones mínimas, por debajo de 1.6 dBA. La diferencia más relevante, entre las dos curvas, es de 2.8 dBA y al estar únicamente a la 1 de la mañana, no es significativo para la investigación.

Debido a que las curvas presentan pequeñas desviaciones para este caso, se pudo asumir que los niveles de ruido que llegan al conjunto se mantienen similares durante todos los días de la semana.

4.1.2 Validación del modelo digital

Previo a la validación se ajustaron los parámetros que intervienen en la propagación del sonido. Se determinó que el coeficiente de absorción de los edificios sería de 0.2. Además, para la absorción del terreno se consideró un coeficiente de absorción de 0.6. Tal como se definió en la metodología.

Como se ve en la tabla 7, se obtuvo diferencias absolutas de hasta 4.8 dBA. Además, se puede observar que, la diferencia absoluta entre las mediciones y los cálculos es inversamente proporcional a la distancia a la que se encuentra el receptor de la fuente. La ubicación de estos puntos consta en la figura 18.

Tabla 7

Resumen de la validación del modelo digital.

Punto de medición	CadnaA (dBA)	Medición <i>in situ</i> (dBA)	Diferencia (dBA)
1	78,7	74,1	4,6
2	78,9	74,1	4,8
3	78,3	74,2	4,1
4	78,6	74,2	4,4
5	77,6	74,6	3,0
6	77,9	74,6	3,3
7	78,6	75,3	3,3
8	78,5	75,3	3,2
9	78,6	76,7	1,9
10	69,4	66,2	3,2
11	66,2	61,3	2,4
12	65,8	61,3	4,5
13	67,9	65,8	0,2
14	58,8	54,8	4,0
15	68,4	65,9	2,5
16	66,7	64,4	2,3

4.1.3 Mapa de ruido del caso de estudio

Al generar 2 mallas de cálculo fue oportuno comparar, de manera cuantitativa, los resultados de variar la altura de los receptores. Se usaron las posiciones de receptor de que se observan en la figura 33 y la altura de todos los receptores estaban en función de la altura de la malla de cálculo.

Tabla 8

Análisis de la variación del nivel de presión sonora en función de la altura de los receptores.

	LD (4m)	LN (4m)	LD (7m)	LD(7m)	VAR D	VAR N
R1	62,8	55,9	57,7	50,9	5,1	5
R2	61,8	55,1	61,8	55,1	0	0
R3	61,4	54,8	56	49,3	5,4	5,5
R4	60,6	54,1	53,6	46,9	7	7,2
R5	63,7	57,2	63,7	57,2	0	0
R6	46,3	39,6	46,3	39,6	0	0
R7	50,9	44,2	50,9	44,2	0	0
R8	47,2	40,6	47,2	40,6	0	0

Como se observa en la tabla 8, las diferencias que se presentan entre las 2 alturas no son representativas. Además, gráficamente los resultados de ambas mallas no tienen un impacto visual suficiente como para diferenciarlas. Por este motivo, se optó por mantener la altura de 4 metros para definir el mapa de ruido del caso de estudio. Basando la decisión en las consideraciones que se tuvieron en el desarrollo del mapa de ruido de la ciudad de Quito. (Luis Bravo Moncayo, 2019). No obstante, los resultados de la malla de 7 metros se pueden observar en el anexo 2A.

A partir de la malla de cálculo a 4 metros se pudo obtener el mapa de ruido para el caso de estudio. En la figura 23 y 24, se observan los niveles de exposición del caso de estudio con respecto a la Av. Simón Bolívar.

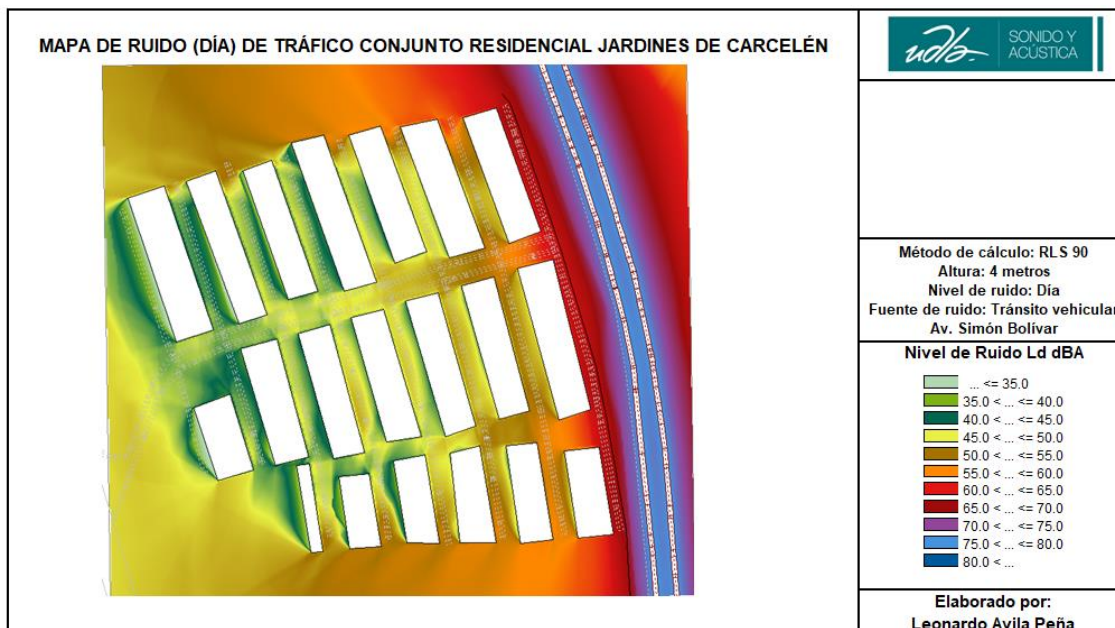


Figura 23. Mapa de ruido en el día de tráfico en el Conjunto Jardines de Carcelén.

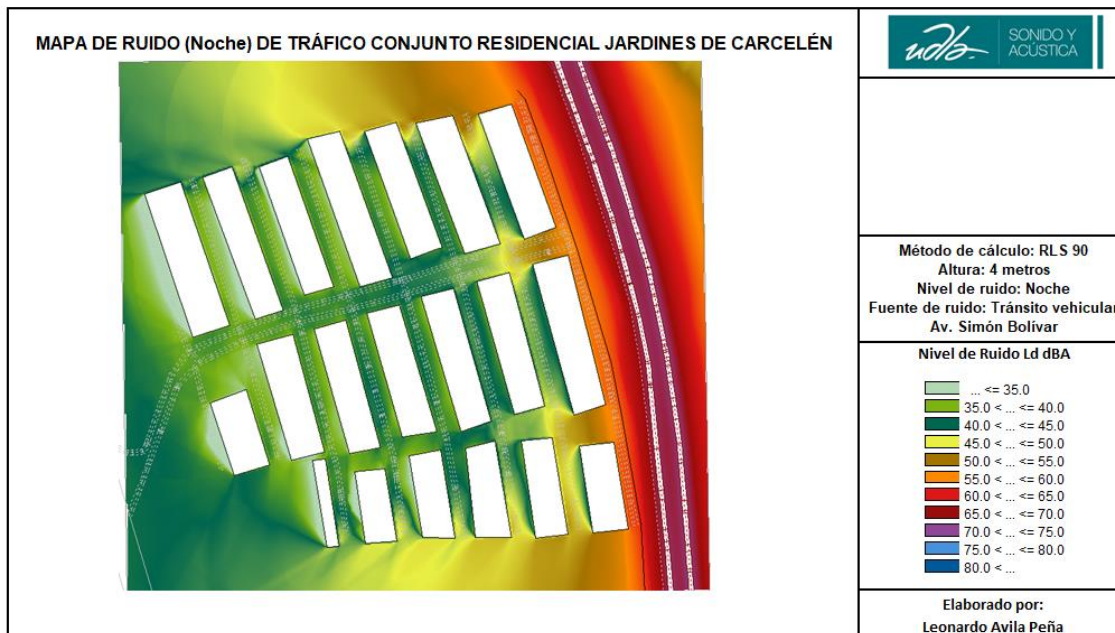


Figura 24. Mapa de ruido en la noche de tráfico en el Conjunto Jardines de Carcelén.

Se puede observar que, los bloques del Conjunto más cercano a la avenida, presentan niveles de emisión en la fachada en el día que se acercan a los 65dB. Además, por la noche, los niveles sobrepasan los 55 dB.

4.2 Encuestas

Con una extensión total de 522 casas se realizó una encuesta descriptiva a 177 domicilios con un nivel de confianza de 90%, estas encuestas se realizaron de manera presencial para asegurar la comprensión de las preguntas (Ver Anexo 4A) (Restrepo, Múnera, & Valencia, 2015).

Algunos resultados de la primera parte de la encuesta socio-acústica se pueden observar en el Anexo 4B.

En la figura 25 se puede observar que, la distribución porcentual de las encuestas es proporcional a la superficie que abraza cada sector.

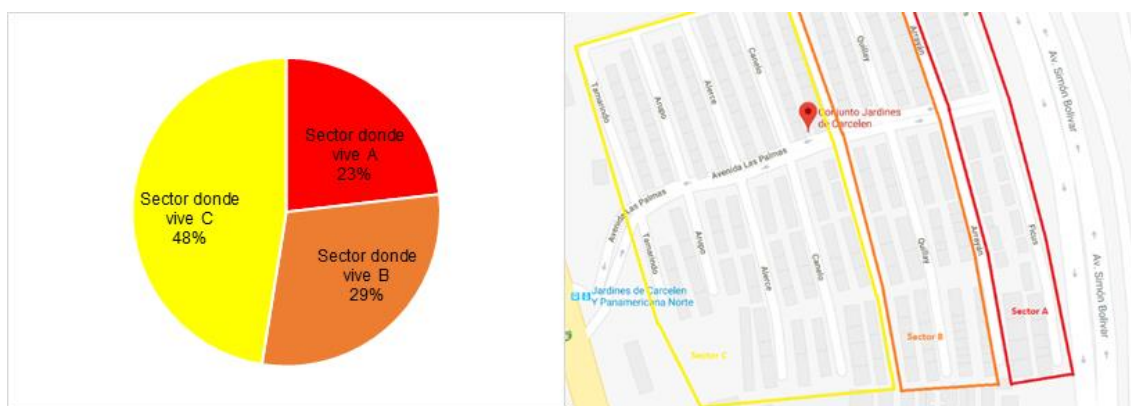


Figura 25. Distribución porcentual de los encuestados en función de los 3 sectores definidos para el análisis.

Cabe destacar que, los porcentajes que se presentan en este apartado se encuentran en función de cada sector. Además, para el grado de molestia

evaluado entre 1 y 5 se debe considerar que; 1 significa nada molesto y 5 significa extremadamente molesto. Por ejemplo, en la figura 28 los porcentajes de 98% del Sector C hacen referencia al total de los encuestados dentro del Sector C.

En la figura 26 se observa la distribución porcentual entre hombres y mujeres. Además, en la figura 27 se muestra que la mayoría de los encuestados, se encontraban en edades entre 29 y 50 años.

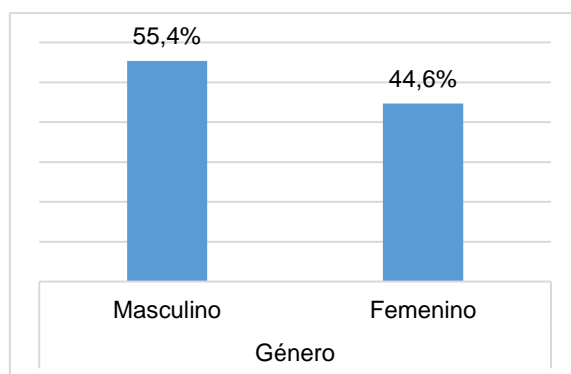


Figura 26. Distribución porcentual por género.

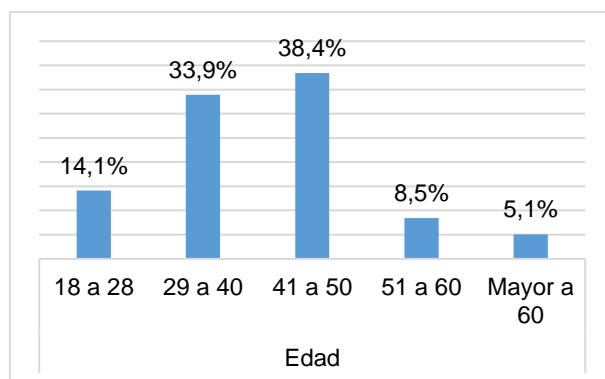


Figura 27. Distribución porcentual por edad.

Se observó que el sector C es indiferente a las molestias que pueda ocasionar frente a las 3 fuentes mencionadas en la figura 28. No obstante, en el Sector B, se identificó una molestia baja con respecto a vehículos ligeros y motocicletas. En el Sector B el grado de molestia es mayor con respecto a los vehículos pesados.

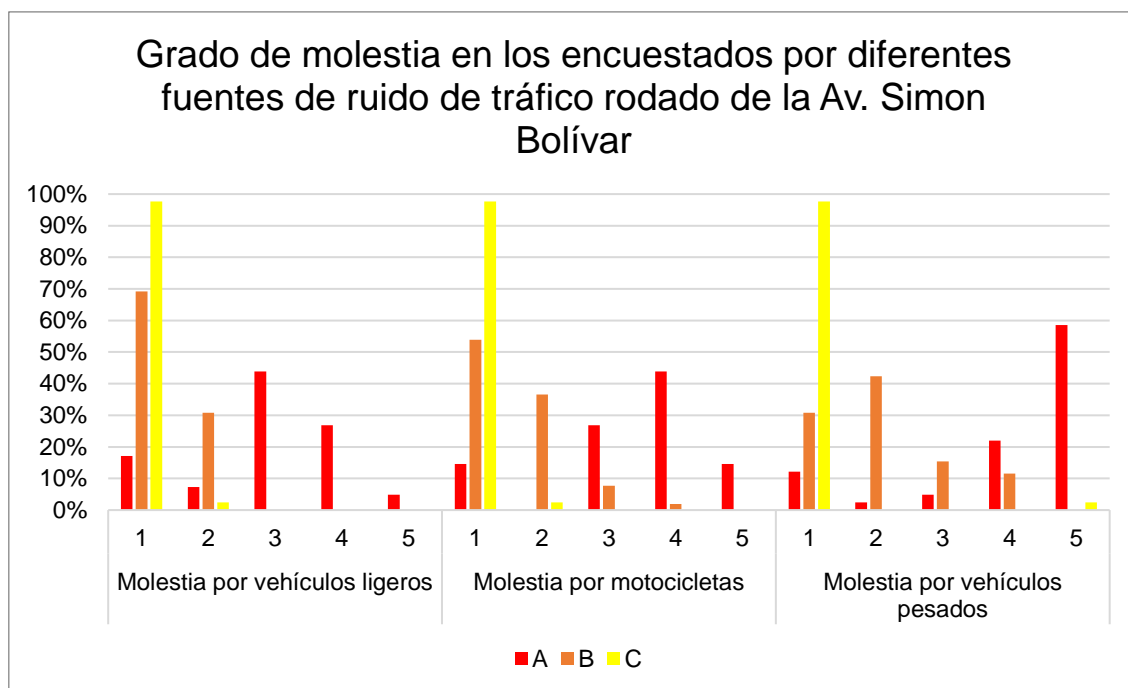


Figura 28. Molestia en los encuestados por diferentes fuentes de ruido de tráfico rodado en la Av. Simón Bolívar. Considerando que 1 significa nada molesto y 5 significa extremadamente molesto.

El Sector A, es el que percibe un grado de molestia mayor con respecto a las fuentes de ruido de la carretera. Se pudo identificar que el grado de molestia por vehículos pesados, en este sector, es extremadamente alto. En general, se pudo observar que los vehículos pesados, son la fuente más significativa de molestia con respecto a los sectores A y B.

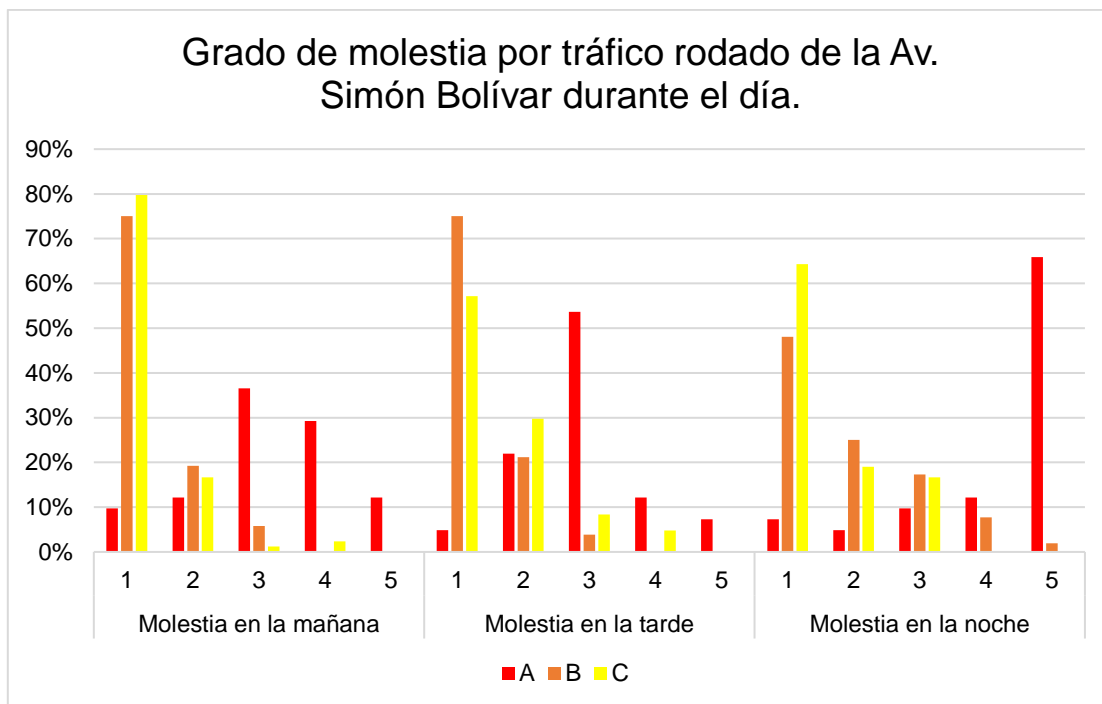


Figura 29. Grado de molestia por tráfico rodado de la Av. Simón Bolívar en función del sector. Considerando que 1 significa nada molesto y 5 significa extremadamente molesto.

En la figura 29, se identificó en general, que la molestia se incrementa en la noche. Con respecto al Sector A, el 70% de los encuestados, presentan molestia máxima en la noche.

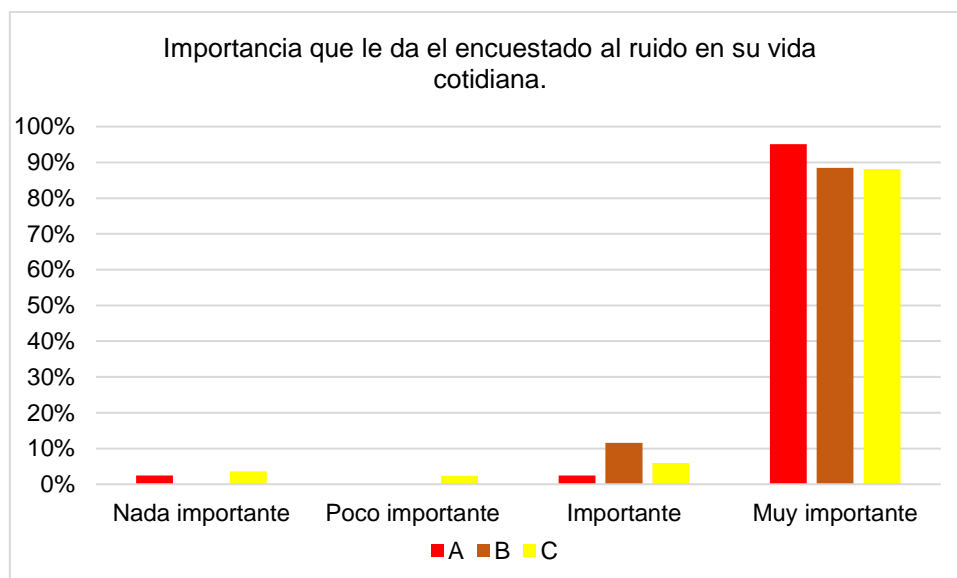


Figura 30 Importancia que le da el encuestado al ruido en su vida diaria en función del sector.

Además, se identificó que, el 90% de todo el condominio, sentía que el ruido era un factor muy importante en su vida diaria, debido a que, produce daños en la salud y además impide que sus actividades se desarrollen con normalidad. Tal como se muestra en la figura 30.

No obstante, aunque el Sector C fue el que menos molestia presentó por el ruido de la Av. Simón Bolívar. Se puede observar que, el 20% de los encuestados en este sector, presentaron un grado de molestia superior al 3. Esto se debe a que el Sector C, también es afectado por otra avenida principal que es la Av. Panamericana Norte. No obstante, esta fuente no entra en el enfoque del proyecto, sin embargo, es altamente recomendado para futuros proyectos.

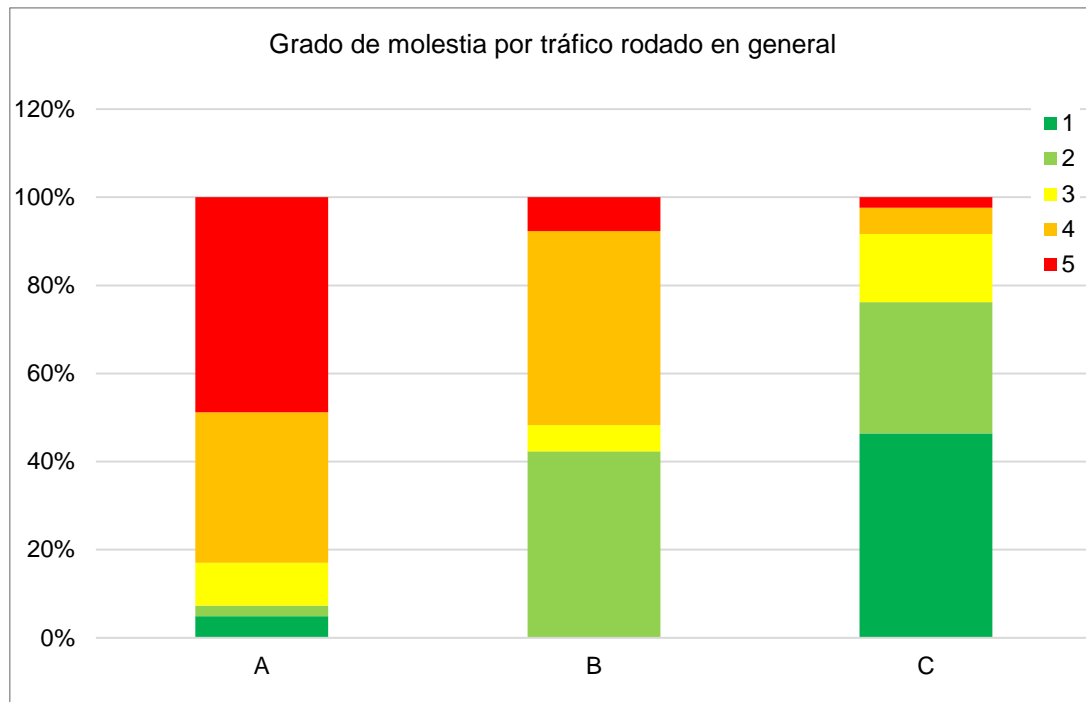


Figura 31. Grado de molestia por tráfico rodado en general en función del sector. Considerando que 1 significa nada molesto y 5 significa extremadamente molesto.

En general, se observó que la población presenta un grado de molestia mayor mientras más se acerca a la Av. Simón Bolívar (figura 31). Esto permite indicar que la Av. Simón Bolívar es la fuente más significativa dentro del caso de estudio.

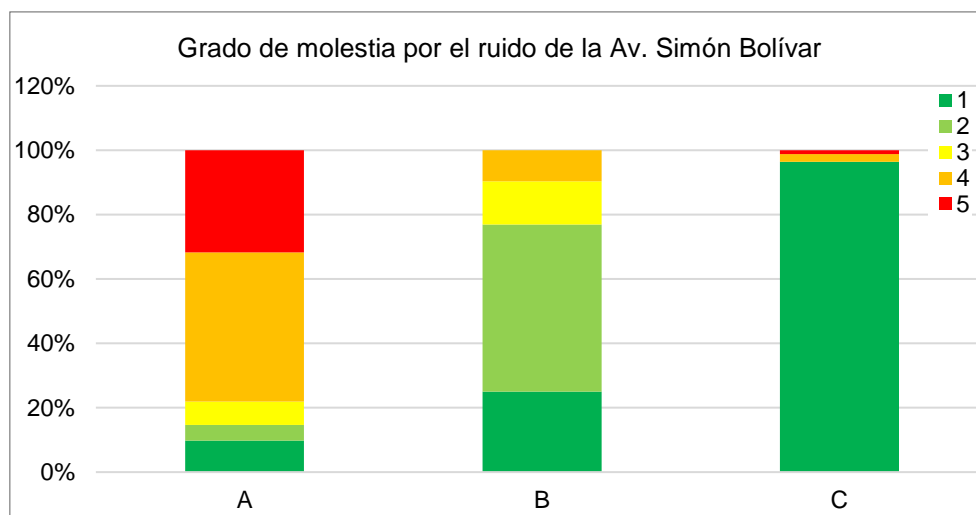


Figura 32 .Grado de molestia por el ruido que emite la AV. Simón Bolívar en función del sector. Considerando que 1 significa nada molesto y 5 significa extremadamente molesto.

En la figura 32, se puede determinar que, toda la molestia que pudo presentar el Sector C no es precisamente por la Av. Simón Bolívar. Además, en el desarrollo de las encuestas, se pudo determinar que el Sector A estaría dispuesto a pagar por una solución al ruido. De igual manera, existieron 2 domicilios que realizaron la instalación de vidrios dobles, en las ventanas que tienen vista directa a la carretera.

Comparando los niveles de exposición (dBA) con los resultados de las encuestas, se identificó que el impacto acústico de la avenida es alto. En general el conjunto presenta molestia a los vehículos pesados y dicha molestia es mayor en la noche. Cabe resaltar que la normativa que se usa de referencia es menos tolerante con los niveles de la noche. Por esto, es necesario el diseño de propuestas de mitigación.

4.3 Diseño de propuestas de mitigación

En función de los resultados de la investigación cualitativa y cuantitativa, se obtuvieron resultados que indican la necesidad de propuestas de mitigación. En

este apartado, se presentan la eficacia de los diseños. Cada uno se enfoca en un pilar fundamental en la transmisión del ruido: la fuente, el medio de propagación y el receptor.

4.3.1 Condiciones iniciales y receptores

Para el diseño de propuestas de mitigación, se utilizaron 8 receptores dentro del modelo digital. La posición se puede observar en la figura 33. Los receptores del 1 al 5 están ubicados para evaluar el sector más vulnerable del conjunto. Los receptores del 6 al 8, tienen el propósito de analizar el comportamiento de los diseños en puntos mucho más alejados de la fuente.

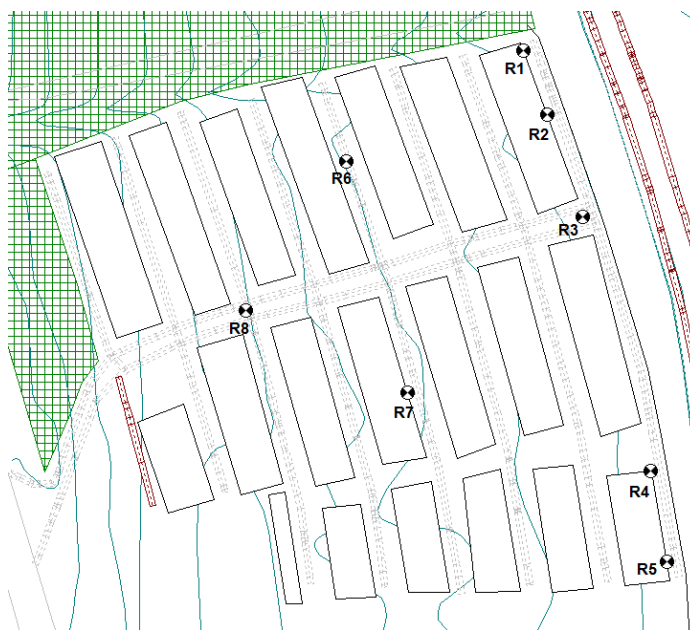


Figura 33. Receptores para el diseño de propuestas de mitigación.

En la tabla 9, se puede observar las condiciones iniciales para cada receptor en el día y la noche.

Tabla 9

Condiciones iniciales para cada receptor.

	LD (dBA)	LN (dBA)
R1	57,7	50,9
R2	61,8	55,1
R3	56,0	49,3
R4	53,6	46,9
R5	63,7	57,2
R6	46,3	39,6
R7	50,9	44,2
R8	47,2	40,6

En el sector de viviendas más cercano a la Av. Simón Bolívar, se encontró que para el día los niveles de ruido en las cercanías de la fachada no superan los 65dB(A), que es el nivel máximo recomendado por el Ministerio del Ambiente de Colombia, para el periodo diurno. En los receptores R2 y R5, se tuvieron valores muy cercanos a los 65dBA. Además, en todos los receptores que evalúan la zona más cercana a la carretera, se observó que los niveles de ruido durante la noche sobrepasan o son muy cercanos a los 45 dBA que es el nivel máximo recomendado por el Ministerio del Ambiente de Colombia para este periodo.

Sin embargo, para los receptores que evalúan la propagación del ruido en el conjunto, se encuentran valores que están muy por debajo de los valores máximos recomendados, tanto para el día como para la noche.

4.3.2 Control de velocidad

En la tabla 10 se puede observar los distintos escenarios donde la variable es la velocidad máxima permitida. Esto fundamentado en los límites de velocidad dentro de zonas urbanas.

En los escenarios del 1 al 3, se consideró al conjunto como un sector urbano en general. En el escenario 4 y 5 se plantearía una restricción más severa

considerando que, en este sector existe cruce de peatones y que no cuenta con puente peatonal como tal. El caso más drástico es el 6,7 y 8 donde se restringe el paso de vehículos pesados.

Tabla 10

Propuestas de control de velocidad

	Velocidad ligeros (km/h)	Velocidad pesados (km/h)
Condición inicial	60	40
Escenario 1	50	30
Escenario 2	60	20
Escenario 3	50	20
Escenario 4	30	20
Escenario 5	20	20
Escenario 6	60	0
Escenario 7	50	0
Escenario 8	20	0

Se observó que, la variación del nivel equivalente tiene mayor influencia al cambiar la velocidad de los vehículos pesados, tal como predecía la ecuación 8. A medida que se reduce la velocidad máxima de vehículos pesados se obtienen atenuaciones más significativas. Esto coincide con lo expuesto por Oberreuter (2012). Las variaciones en cada receptor fueron uniformes para cada uno, por lo cual, se pudo obtener atenuaciones globales para cada escenario.

En la tabla 11, se observa la variación del nivel equivalente de los escenarios que están en función de la velocidad máxima de ligeros y pesados.

Tabla 11

Resultado global para cada escenario en el día y la noche.

	Velocidad ligeros (km/h)	Velocidad pesados (km/h)	Atenuación Día (dBA)	Atenuación Noche (dBA)
C.I.	60	40	-	-
E1	50	40	0,3	0,4
E2	50	30	1,5	1,5
E3	40	30	1,8	1,9
E4	30	20	2	2,2
E5	20	20	2	2,2
E6	60	0	5,8	4,1
E7	50	0	7,1	5,4
E8	20	0	9,3	7,6

Se puede observar que a partir del escenario 4 se obtienen variaciones considerables (2.2dBA). No obstante, las máximas atenuaciones se encuentran en los escenarios 6, 7 y 8, donde se ha restringido el tránsito de vehículos pesados.

Como se ve, en la figura 34, la disminución en el nivel equivalente es más sensible al cambiar la velocidad máxima de los vehículos pesados.

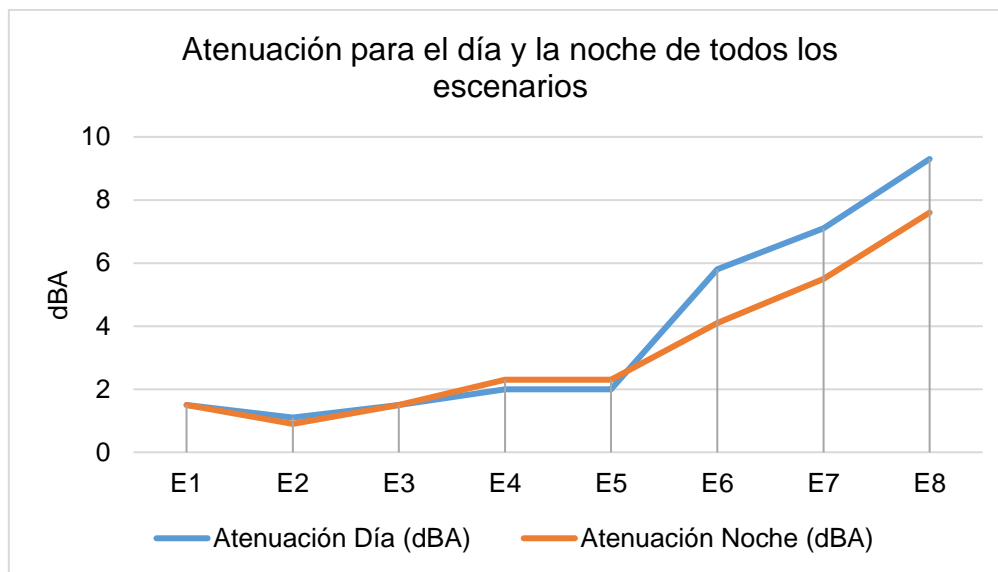


Figura 34. Variación del nivel de presión equivalente de cada escenario en función del límite de velocidad.

La atenuación de cada escenario difiere entre el día y la noche, debido a que el porcentaje de vehículos pesados es menor en la franja nocturna.

4.3.3 Barrera acústica

Previo al estudio de los resultados de la barrera acústica, se realizó un análisis con respecto a la absorción en ambos lados del cerramiento. Se usaron 4 alturas diferentes: 2m, 5m, 10m y 15m. En cada caso se realizó un cálculo con absorción total y nada de absorción. Los resultados en ambos casos fueron exactamente iguales. Debido a esto, se pudo decir que el comportamiento de la barrera acústica es indiferente a la absorción, debido a que las reflexiones con respecto a la carretera no tienen la energía suficiente para representar cambios en los niveles equivalentes.

Se realizaron cálculos sobre la altura del cerramiento, haciendo iteraciones desde los 2.5 m hasta llegar a los 15m, con saltos de 0.5m. Así se pudo evaluar hasta qué punto vale la pena levantar una pantalla acústica.

En la tabla 12 se puede observar las alturas que se tendrían en cuenta para realizar la evaluación de la barrera acústica.

Tabla 12

Alturas para la evaluación de la barrera acústica.

	Altura(m)		Altura(m)		Altura(m)		Altura(m)
Condición inicial	-	15	9,5	30	17,0	45	24,5
1	2,5	16	10,0	31	17,5	46	25,0
2	3,0	17	10,5	32	18,0	47	25,5
3	3,5	18	11,0	33	18,5	48	26,0
4	4,0	19	11,5	34	19,0	49	26,5
5	4,5	20	12,0	35	19,5	50	27,0
6	5,0	21	12,5	36	20,0		
7	5,5	22	13,0	37	20,5		
8	6,0	23	13,5	38	21,0		
9	6,5	24	14,0	39	21,5		
10	7,0	25	14,5	40	22,0		
11	7,5	26	15,0	41	22,5		
12	8,0	27	15,5	42	23,0		
13	8,5	28	16,0	43	23,5		
14	9,0	29	16,5	44	24,0		

En la figura 35 se muestra la atenuación de la barrera en función de la altura. Además, los resultados de atenuación en los receptores R6, R7 y R8 no son significativos, por lo que se excluyeron del gráfico.

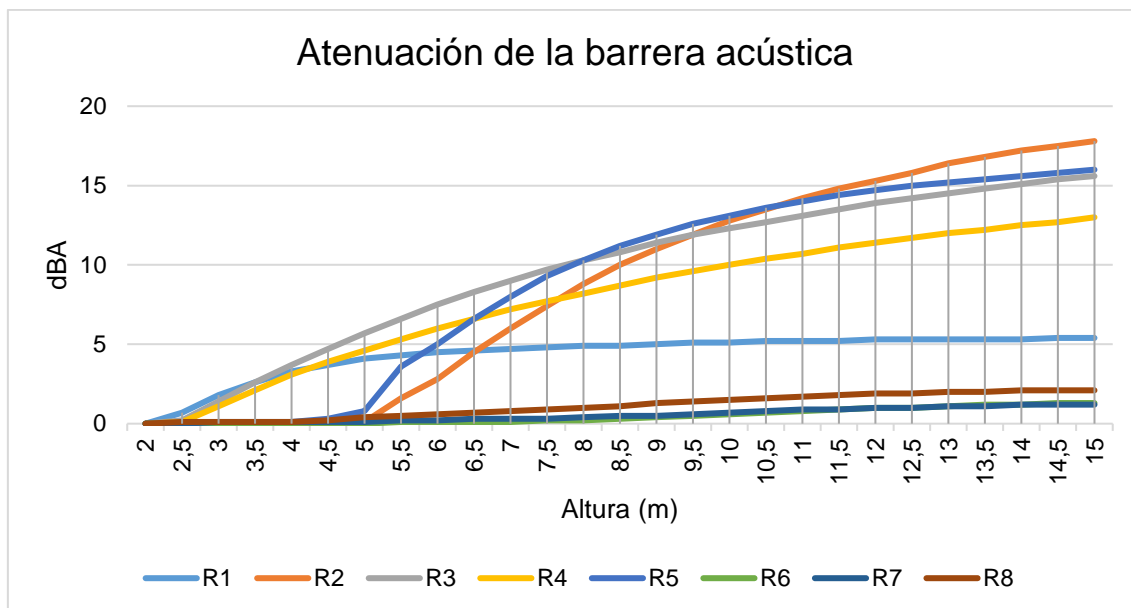


Figura 35. Atenuación de la barrera en función de la altura.

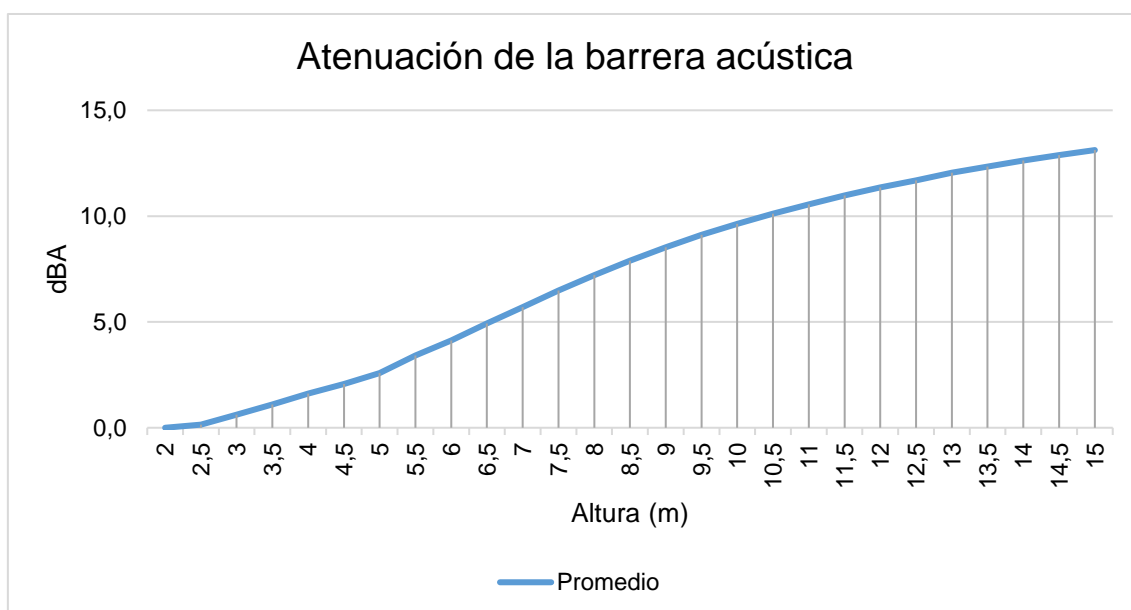


Figura 36. Promedio logarítmico de la atenuación entre todos los receptores.

Tomando en cuenta los resultados de las condiciones iniciales y que los cálculos del modelo digital superan a las mediciones *in situ* por casi 4dBA, se estableció que una atenuación de 5dBA es un valor adecuado para el caso de estudio.

Los receptores 1 y 2, son los que más altura necesitan para llegar a 5dBA de atenuación, como se observa en la tabla de atenuación por cada receptor. A una altura de 6.5 m, la estructura reduciría 5dBA del nivel equivalente de la Avenida Simón Bolívar. Además, en la figura 36 se puede observar que, al realizar un promedio logarítmico entre todos los receptores, se identifica de mejor manera que la altura que permitiría esta atenuación sería 6.5 m.

4.3.4 Vidrios dobles

En función de los valores de recepción en la tabla 9, se pudo identificar cuáles son las ventanas que necesitan tratamiento acústico. En la figura 37, se muestran las ventanas que requerirían aislamiento acústico. Las medidas de la ventana V1 son: 1.15 x 1.20 metros y de la ventana V2 son: 1.08 x 1.17 metros.



Figura 37. Fachada expuesta al ruido de la A. Simón Bolívar.

De acuerdo al Catálogo de Elementos Constructivos (España, 2010), una fachada de hormigón sin aislamiento presenta un R_{Atr} , entre 43dBA y 50dBA (Anexo 5A) . Es decir, cualquier solución debió estar por debajo de estos valores de referencias. Además, en el Anexo 5B, se muestra el R_{Atr} , para vidrio sencillo. De igual manera, como se puede observar en el Anexo 5C, los valores de R_{Atr} , de un sistema de ventana doble, se encuentran entre 41dBA y 46dBA.

Se utilizaron los valores de R_{Atr} para vidrio simple de 8mm (26dBA) y de hormigón convencional (53dBA). Se analizaron los resultados de la instalación de un vidrio doble, con apertura deslizante y oscilo batiente.

En la figura 38, se observan los valores de R_{Atr} para una fachada mixta. Se identificó que el vidrio simple, que se encuentra instalado, junto con el hormigón convencional, formaría una fachada mixta con un RA de 35dBA. Por otro lado, al introducir en los cálculos el vidrio doble, se observa un aumento en el factor R_{Atr} de aproximadamente 13dBA. Todo esto calculado en función de la ecuación 17.

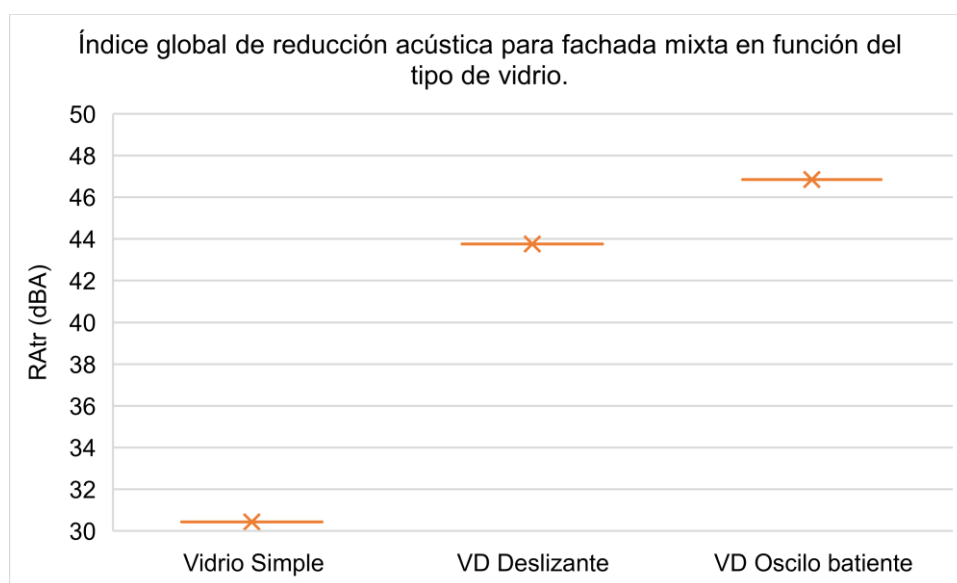


Figura 38. R_{Atr} para fachada mixta en función del tipo de vidrio.

Tomando en cuenta que, la instalación de apertura oscilo batiente no representa complejidad ni aumento de costo, se optó por ajustar la propuesta a este sistema de apertura. Obteniendo un R_{Atr} teórico de 46dBA.

En la tabla 13, se observa la propuesta de mitigación mediante la implementación de ventanas dobles. Los datos corresponden a un sistema de vidrio doble con cavidad de aire. Se puede verificar esto en el Anexo 5C.

Tabla 13

Propuesta de control de ruido mediante una ventana doble con cavidad de aire.

Tomado de (España, 2010)

Espesor de la cámara de aire	60mm
RAtr	44dBA
Laminado del vidrio	4mm

No fue posible realizar una relación entre el RAtr con los valores de los receptores, debido a que, la mayoría de los propietarios realizan modificaciones internas y sería imposible obtener un valor general. No obstante, en la figura 40 se puede observar que la diferencia de RAtr entre una ventana simple y el sistema de ventana doble es de 16dBA. Se puede determinar que reduciría significativamente la molestia con respecto al ruido de la Av. Simón Bolívar.

5. Discusión

Primeramente, los niveles equivalentes a los que está expuesto el Sector A por parte de la Av. Simón Bolívar, son muy cercanos a los máximos recomendados. Esto según la resolución 627 del Ministerio del Ambiente de Colombia.

Además, la encuesta socio-acústica, indicó que los sectores A y B son los más afectados por la carretera. De igual manera, el Sector C, no es indiferente al ruido de tráfico, aunque indique menor molestia que en los otros sectores. Por este motivo se identificó que existe un impacto acústico importante en los moradores del condominio a causa de la Av. Simón Bolívar.

Se observó que, aunque existen 2 carreteras que aportan ruido y afectan al conjunto residencial, la Av. Simón Bolívar es la fuente de ruido más representativa. De igual manera, en la figura 34, los porcentajes de molestia del Sector A con respecto al Sector C se cuadruplican y con respecto al sector B casi se triplican.

En el control de velocidad, se obtuvieron escenarios en los que se lograron variaciones del nivel equivalente de hasta 9dBA. No obstante, estos valores indicaron que era necesario restringir la circulación de vehículos pesados.

Con respecto a la barrera acústica, se pudo determinar una altura de 6,5 metros para una atenuación estimada de 5dBA. Aunque, el desarrollo de la investigación procuró obtener la altura más baja, 6,5 metros es una medida demasiado alta.

Según la figura 35 y 36, se determinó que la barrera comienza a realizar cambios en los niveles equivalentes a partir de 5,5m. Considerando que el conjunto está planificando levantar un muro de 5 metros y que los resultados de la investigación indicaron que, la absorción no es significativa en la atenuación, esta altura sería más justificable. La variación de la velocidad de los vehículos pesados, es el parámetro que más influye dentro de la atenuación del control de velocidad. Además, los habitantes son más sensibles al ruido en horario nocturno e indican mayor molestia por vehículos pesados. Según estas consideraciones, se plantearon 2 propuestas de mitigación. Ambas, son un conjunto entre control de velocidad y barrera acústica.

Debido a que, donde realmente se superan los niveles máximos recomendados, es en la noche. Se determinó, para ambas propuestas, la velocidad máxima de circulación en el día de 50km/h para ligeros y 20 km/h para pesados, en el tramo que circunda al Conjunto Jardines de Carcelén.

Para el primer caso se considera que, la velocidad máxima de circulación en la noche será 20km/h para ligeros y pesados.

Para el segundo caso se considera que, la velocidad máxima de circulación en la noche será de 60km para ligeros y se restringe la circulación de vehículos pesados durante la noche.

Como se puede ver, en la figura 39, para el primer caso existen atenuaciones de hasta 8dBA durante el día. En la noche se observaron reducciones del nivel equivalente de hasta 9dBA, con niveles máximos de 54dBA, niveles que están dentro de las recomendaciones.

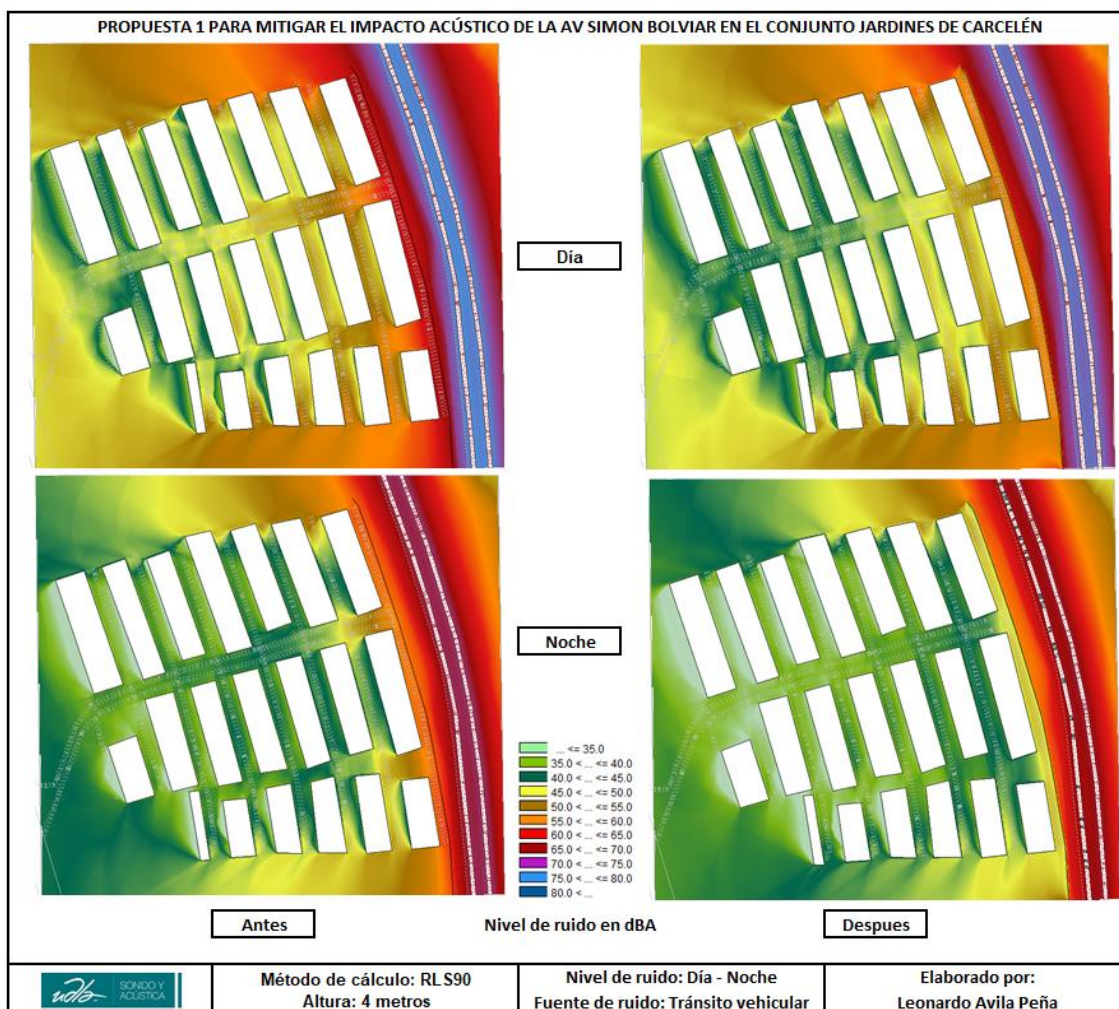


Figura 39. Propuesta 1 de mitigación de ruido por tráfico rodado de la Av. Simón Bolívar.

En la figura 40, se observa que en el día se tienen atenuaciones iguales que en la primera propuesta. No obstante, en la noche, se pudieron observar variaciones en el nivel equivalente de hasta 12dBA.

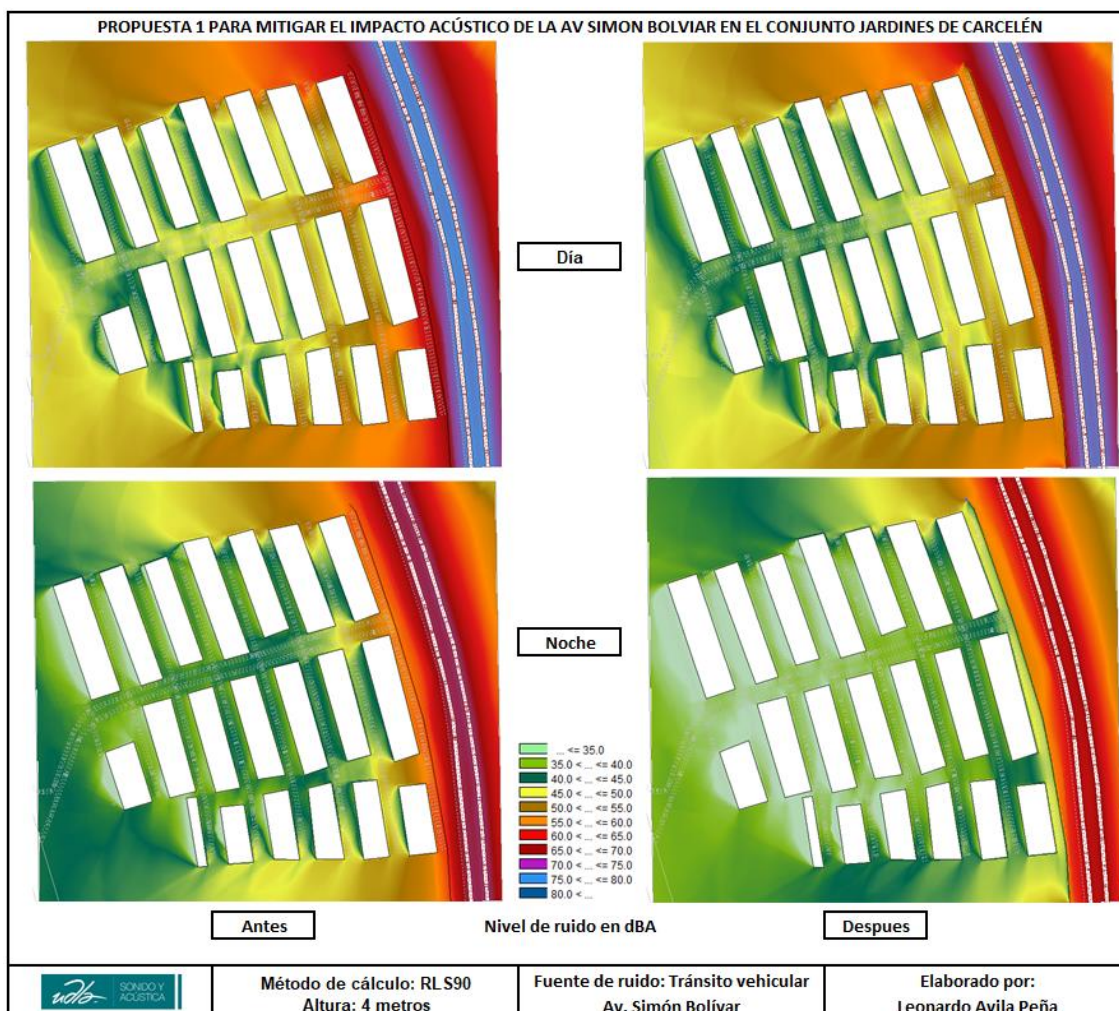


Figura 40. Propuesta 2 de mitigación de ruido por tráfico rodado de la Av. Simón Bolívar.

Además, el resultado de la investigación determinó qué ventanas deberían ser modificadas. Así mismo, el modelo propuesto en la tabla 13, cumplió con las características necesarias para reducir el impacto en el receptor.

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

Se identificó, que la dinámica del ruido en la Av. Simón Bolívar es indiferente al día de la semana.

Se realizó un modelo digital valido, mediante mediciones de corto periodo e investigación sobre la información necesaria, para cumplir con el modelo RLS90.

Con los resultados del modelo digital, se desarrolló el mapa de ruido, del Conjunto Jardines de Carcelén. Se observó que los niveles máximos del día se encuentran cerca a los 65dBA y en la noche sobre pasan los 55dBA. Esto incumple la resolución 627 del Ministerio de Ambiente de Colombia, que fue la referencia para desarrollar esta investigación.

Se realizaron encuestas a 177 domicilios. El Sector A tiene una representatividad del 23% en el total de domicilios encuestados. El 29% de los hogares encuestados corresponde al Sector B. La mayor población se concentra en el Sector C, donde se realizó el 48% de las encuestas.

Se identificó que, la Av. Simón Bolívar tiene un impacto acústico importante en los habitantes del Conjunto Jardines de Carcelén. Por lo tanto, se presentaron algunas propuestas de mitigación al ruido que esta avenida produce.

Al realizar variaciones en la velocidad máxima de circulación, se encontró que, esta manera de modificar el nivel equivalente de la carretera es más sensible al cambio de la velocidad máxima en vehículos pesados. Se logró obtener atenuaciones de hasta 9dBA.

Al diseñar una propuesta de mitigación, que actué en el medio de propagación, se evaluó una barrera acústica, en el cerramiento del conjunto. Se concluye que, una atenuación de 5dBA es suficiente para que los niveles máximos no superen a los recomendados. Se definió, que una altura de 6.5m, obtendría la atenuación requerida.

Los resultados de la investigación determinaron las ventanas que deberían tener tratamiento acústico.

El modelo digital y las encuestas se determinaron las condiciones acústicas en las que se encuentra el condominio. Los niveles en la noche sobrepasan los máximos recomendados. Esto es coherente a los resultados de las encuestas.

El impacto acústico en el Conjunto Jardines de Carcelén está en función de la cercanía que tienen los hogares a la Av. Simón Bolívar. No obstante, está presente en todo el conjunto, aunque, en el Sector A el impacto es mínimo.

Las propuestas de mitigación consideraron la sensibilidad de las personas al tráfico de vehículos pesados. Además, el horario nocturno, fue una de las prioridades al establecer las variaciones del control de velocidad.

En el caso de la propuesta 1, en la noche se limita la velocidad a 20km/h para cualquier vehículo. Por otro lado, en el caso 2 se restringe el paso de vehículos pesados, pero únicamente en la noche. No obstante, la propuesta 2 propone que, la velocidad de los vehículos ligeros sea 60km/h en la noche.

Se concluye, además, que, el vidrio doble que consta en la tabla 13, con apertura oscilo batiente, es la mejor opción al momento de considerar al receptor. La diferencia en el índice RAtr, entre el vidrio simple y el sistema de ventana doble, fue de 13dB. Lo que permite concluir que esta alternativa conseguirá reducir notoriamente la molestia y asegura la mejor relación costo-beneficio.

Se identificó que, sí existe un impacto acústico en el conjunto Jardines de Carcelén, por el ruido de la Av. Simón Bolívar. Además, se determinaron los sitios donde existe mayor impacto. De igual manera, con el apoyo de referencias latinoamericanas, se adaptó el análisis de resultados a una legislación que considere normas para el ruido ambiental. El desarrollo de las propuestas de mitigación, demuestran el correcto uso de recursos y razonamientos de ingeniería.

Finalmente, esta investigación realizó propuestas de mitigación que son viables. Además, es importante la implementación de soluciones acústicas frente a problemas de ruido. Ecuador necesita una normativa de referencia, para poder

validar este tipo de proyectos. De igual manera, es necesario demostrar que el confort acústico no es un lujo, es un derecho. La metodología de este proyecto, puede ser usada como referencia para futuras investigaciones sobre control de ruido en zonas residenciales.

6.2 Recomendaciones

En el desarrollo de este proyecto se pudo identificar que existe otra fuente de ruido que afecta al caso de estudio. La Avenida Panamericana Norte, es una vía que tiene influencia en la molestia de los moradores de Jardines de Carcelén. No obstante, la molestia es mínima y no es representativa para los objetivos planteados.

Se recomienda, realizar un estudio sobre el flujo vehicular y los niveles de presión sonora relativos a la Avenida Panamericana Norte. Esto para complementar el desarrollo de este proyecto y ajustar el mapa de ruido del caso de estudio.

Finalmente, se recomienda tomar estos estudios como referencias para justificar el desarrollo de una normativa nacional (Ecuador) sobre ruido ambiental. De esta manera, tener una referencia local y realizar las comparaciones y propuestas bajo condiciones reales dentro del país.

REFERENCIAS

- ANT. (2019). Límites de velocidad permitidos. Recuperado 25 de Junio de 2019 de <https://www.ant.gob.ec/index.php/component/content/article/49-boletines/189-agencia-nacional-de-transito-participa-en-la-semana-de-seguridad-vial#.XUrfxehKjIU>
- Arana, M., Vírgala, A. M., Aleixandre, A., Martín, M. S., & Vela., A. (2000). MODELOS DE PREDICCIÓN DEL RUIDO DE TRÁFICO RODADO. *TecniAcustica*, 43.50.Ba.
- Caloryfrio. (2019). Pantallas acústicas para instalaciones de climatización. Recuperado el 22 de Junio de 2019 de <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/materiales/pantallas-acusticas-para-instalaciones-de-climatizacion-legislacion-y-diseno.html>
- César Díaz Sanchidrián, A. P. (2008). Los huecos de las fachadas de los recintos. VI Congreso Iberoamericano de Acústica, FIA2008-A043.
- Colombia, R. d. (2006). Resolución 627: Norma nacional de emisión de ruido. Medellín, Colombia.
- Daumal, F., Monzón, M., & López-Mesa, B. (2018). La necesidad de conciliar la normativa de habitabilidad con la rehabilitación acústica de la vivienda mínima. *Inofrmes de la construcción*, 70(549), e241.
- dBcover. (2019). Problemas acústicos por vías de transmisión . Recuperado el 22 de Junio de 2019 de <https://dbcover.com/es/problemas-acusticos-por-via-de-transmision/>
- del Pilar, R. V., Janeth, G. U., Javier, E. M., & Ever, P. M. (2015). El proceso de diseño de una barrera acústica aplicado al sector hospitalario. *Revista Ingeniería Biomédica*, 9, 133-138.
- Díaz, J., Arroyo, V., Ortiz, C., Carmona, R., & Linares, C. (2016). *Effect of Environmental Factors on Low Weight in Non-Premature Births: A Time Series Analysis. PLoS One*, 11, 11-26.

- Digitales, M. (2019). La herramienta que todos quieren. Recuperado el 23 de Junio de 2019 de <http://www.matematicasdigitales.com/la-herramienta-que-todos-quieren-la-campana-de-gauss/>
- Ekelund, S. (2018). *Reference intervals and percentiles – implications for the healthy patient*. Recuperado el 22 de Febrero de 2019 de <https://acutecaretesting.org/en/articles/reference-intervals-and-percentiles-implications-for-the-healthy-patient>
- EN1793-3. (1998). Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 3: Espectro normalizado de ruido de tráfico. Madrid, España.
- España. (2010). Catalogo de elementos constructivos del código técnico de la edificación.
- Flotats, A. (2009). 112.000 gallegos sufren en sus casas ruidos dañinos. El País, 4.
- GOODWIN, S. E., & SHRIVER, W. G. (2011). Efectos del Ruido de Tráfico sobre los Patrones de Ocupación de Aves de Bosque. Blackwell Publishing Ltd, 406-411.
- ISO/TS15666. (2003). Evaluación de la molestia por ruido mediante encuestas socio-acústicas.
- ISO1996-2. (2009). Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental. Madrid, España.
- ISO9613-2. (1996). Atenuación del sonido durante la propagación en el exterior. Parte 2: Método general de cálculo. Madrid, España.
- LabioFísica. (2012). Difracción del sonido. Recuperado el 22 de Junio de 2019 de <http://labiofisica-ug.blogspot.com/2015/08/difraccion-del-sonido.html>
- Lizarraga, C. (2012). Expansión metropolitana y movilidad: el caso de Caracas. *Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, 38, 99-125.

- Luis Bravo Moncayo, M. C.-N.-G. (2019). *A cost-effective approach to the evaluation of traffic noise exposure in the city of Quito, Ecuador. Case Studies on Transport Policy*, 7, 128-137.
- Madrid. (2017). El ruido nocturno del tráfico en Madrid supera los niveles recomendados. *Diario Médico*, 1.
- Musiki. (2019). Absorción del sonido. Recuperado el 25 de Junio de 2019 de <http://musiki.org.ar/Absorción>
- Oberreuter, J. (2012). INFLUENCIA DE LA INCERTIDUMBRE DE LOS DATOS DE ENTRADA EN LA GENERACIÓN DE MAPAS DE RUIDO DE GRANDES CIUDADES. *SONAC*, 95-105.
- Peralta, J. G., Narváez, I. T., & Valdez González, M. M. (2016). Determinación de la contaminación acústica de fuentes fijas y móviles en la vía a Samborondón en Ecuador. *Ambiente y Desarrollo*, 20, 43-56.
- Restrepo, F. J., Múnera, J. D., & Campo, C. A. (2018). Estimación de la relación entre el ruido y la molestia generada por el tráfico vehicular: una aplicación en la ciudad de Medellín, Colombia *. *Revista de Estudios Regionales*, 111, 181-213.
- Restrepo, F. J., Múnera, J. D., & Valencia, B. A. (2015). VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA REDUCCIÓN DEL RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR: UNA APLICACIÓN PARA MEDELLÍN (COLOMBIA). *Semestre Económico*, 18, 11-50.
- Reynalco. (2019). Como elegir acristalamiento de ventanas. Recuperado el 22 de Junio de 2019 de <https://www.reynalco.com/es/zona-tecnica/como-elegir-los-acristalamientos-de-las-ventanas>
- Ridao, Á. F. (2011). Conceptos Ruido. Recuperado el 22 de Junio de 2019 de https://www.ugr.es/~ramosr/CAMINOS/conceptos_ruido.pdf
- Rodríguez, B. M., Balboa, M. D., Santana, J. M., & Molina, M. M. (2015). ESTUDIO ESTRUCTURAL DE UNA PANTALLA ACÚSTICA ECOSOSTENIBLE. *Environmental Studies*, 16, 15-35.

Suárez, P. M., & Jiménez, A. M. (2013). Ruido y quietud en el interior de los parques de Madrid (España): Un análisis ambiental de casos con SIG. *Universidad Complutense de Madrid*, 33, 133-160.

Victor H. Lobos Vega, E. A. (2008). ESTUDIO SUBJETIVO DE LA PERCEPCIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL EN LA. VI Congreso Iberoamericano de Acústica, FIA2008-A133.

ANEXOS

ANEXO 1A

Tabla 14

Especificaciones para las mediciones de validación.

Punto	Hora de inicio	Altura (m)	Distancia a superficie reflectante
1	13:45	1,4	2,5
2	13:45	1,4	2,5
3	14:00	1,4	3
4	14:00	1,4	3,5
5	14:17	1,4	3
6	14:17	1,4	1,75
7	14:40	1,4	3
8	14:40	1,4	2,5
9	15:07	1,4	3
10	15:30	1,4	12
11	15:48	1,4	5
12	15:48	1,4	5
13	16:09	1,4	6
14	16:45	1,4	10
15	17:15	6.423	-
16	17:40	7,44	-

ANEXO 2 A

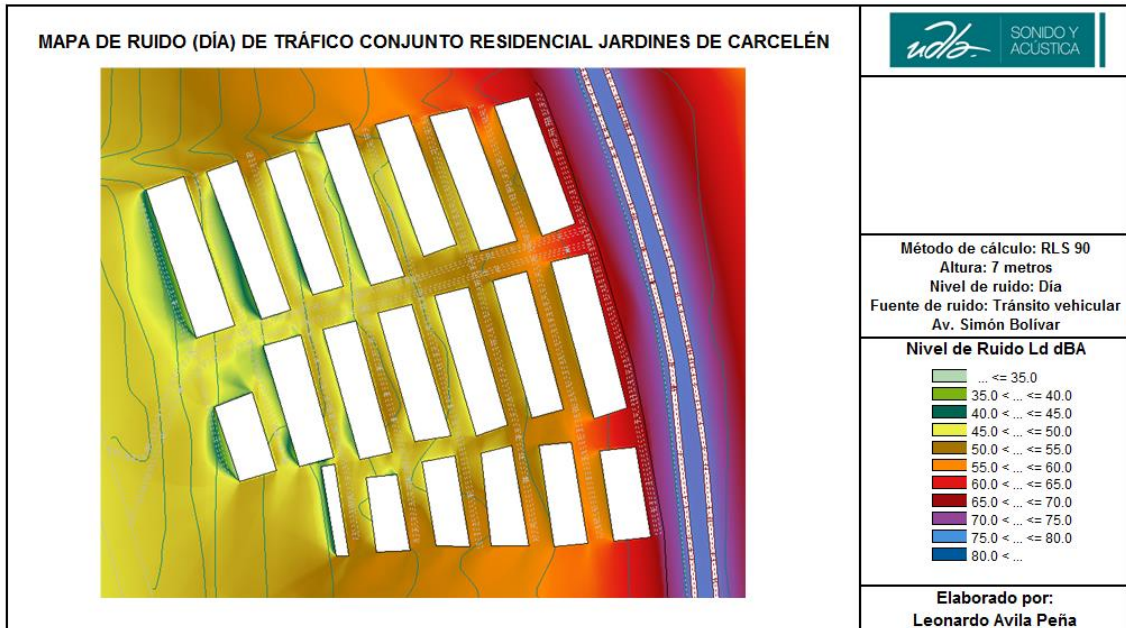


Figura 41 Mapa de ruido en el día de tráfico en el Conjunto Jardines de Carcelén. Malla a 7 metros de altura.

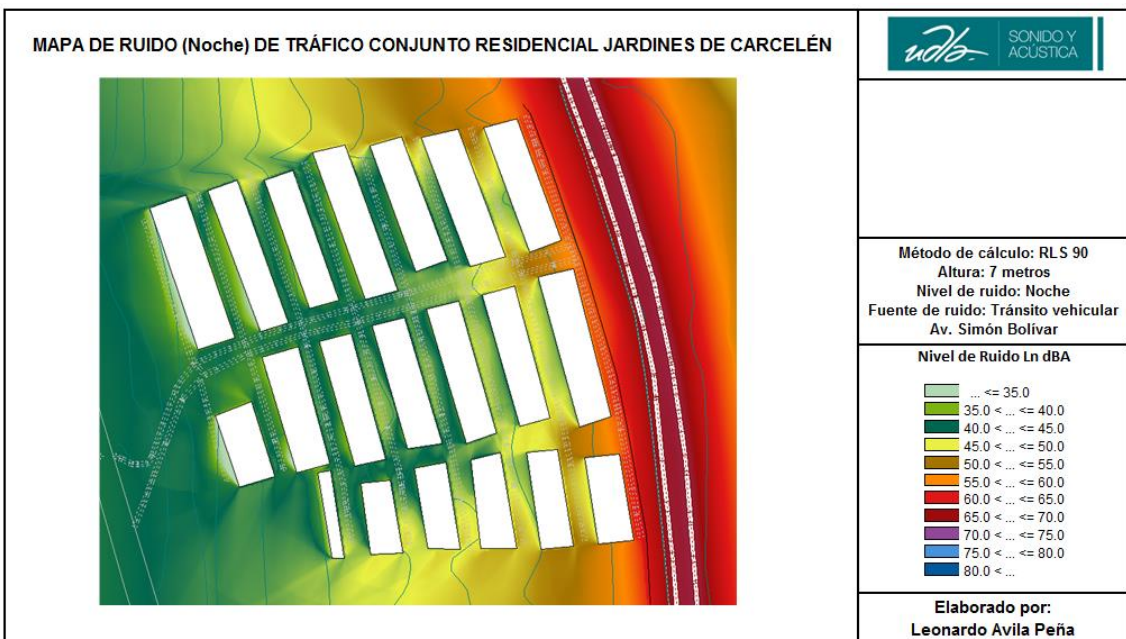


Figura 42. Mapa de ruido en la noche de tráfico en el Conjunto Jardines de Carcelén. Malla a 7 metros de altura.

ANEXO 3A

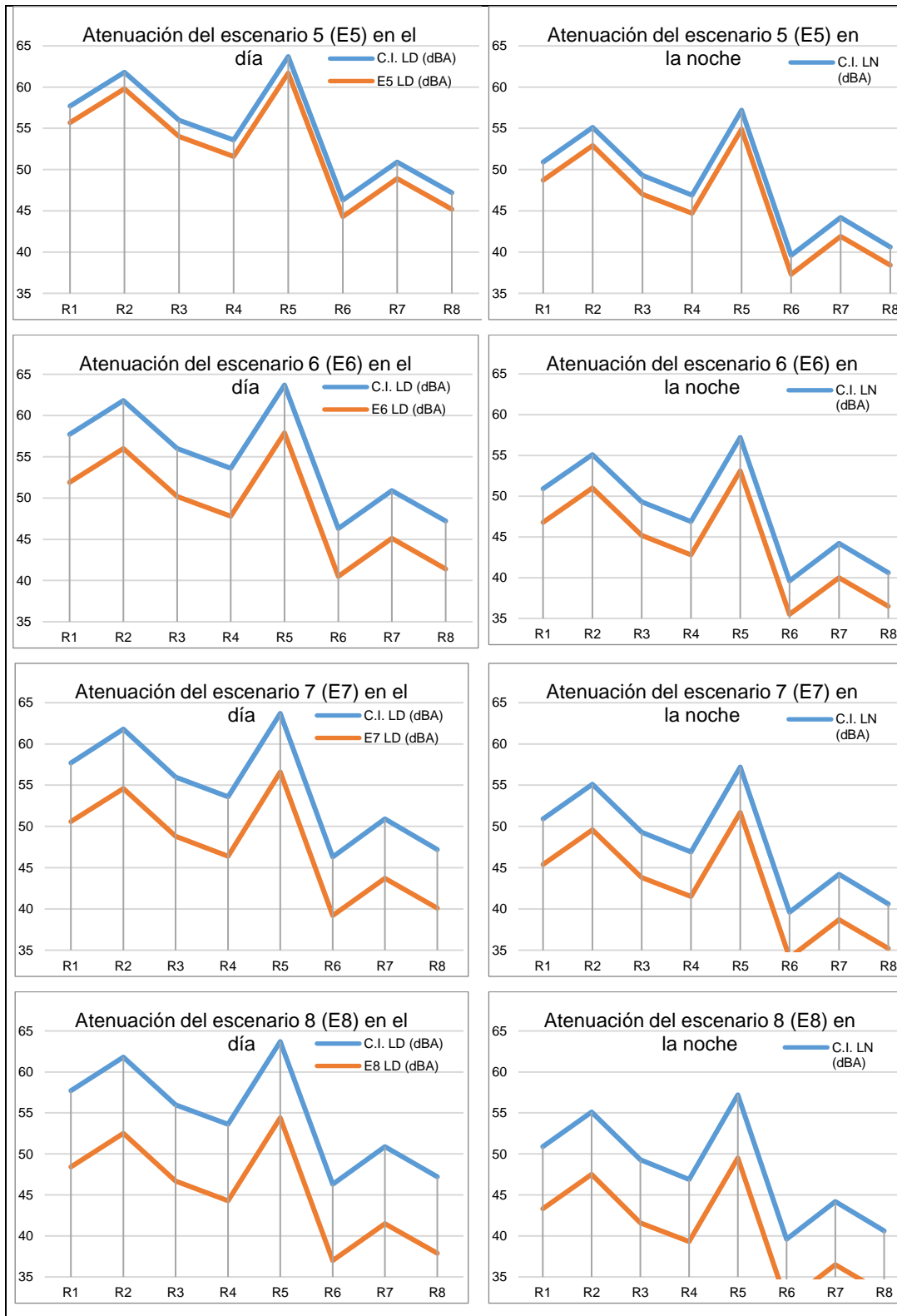


Figura 43. Escenarios variación del nivel equivalente en función de la variación de la velocidad del flujo vehicular.

ANEXO 4A

Evaluación del impacto acústico-ambiental frente a la extensión de la Av. Simón Bolívar en el Conjunto Jardines de Carcelén.

En la siguiente encuesta se realizarán algunas preguntas con el objetivo de evaluar: la molestia que sienten los habitantes del Conjunto Jardines de Carcelén con respecto a problemas ambientales referentes al ruido en general, el impacto ambiental que tuvo la extensión de la Av. Simón Bolívar en la vida cotidiana y la disponibilidad de parte del encuestado de apoyar un plan de control de ruido para la urbanización.

***Obligatorio**

Preguntas generales

1. Género *

Marca solo un óvalo.

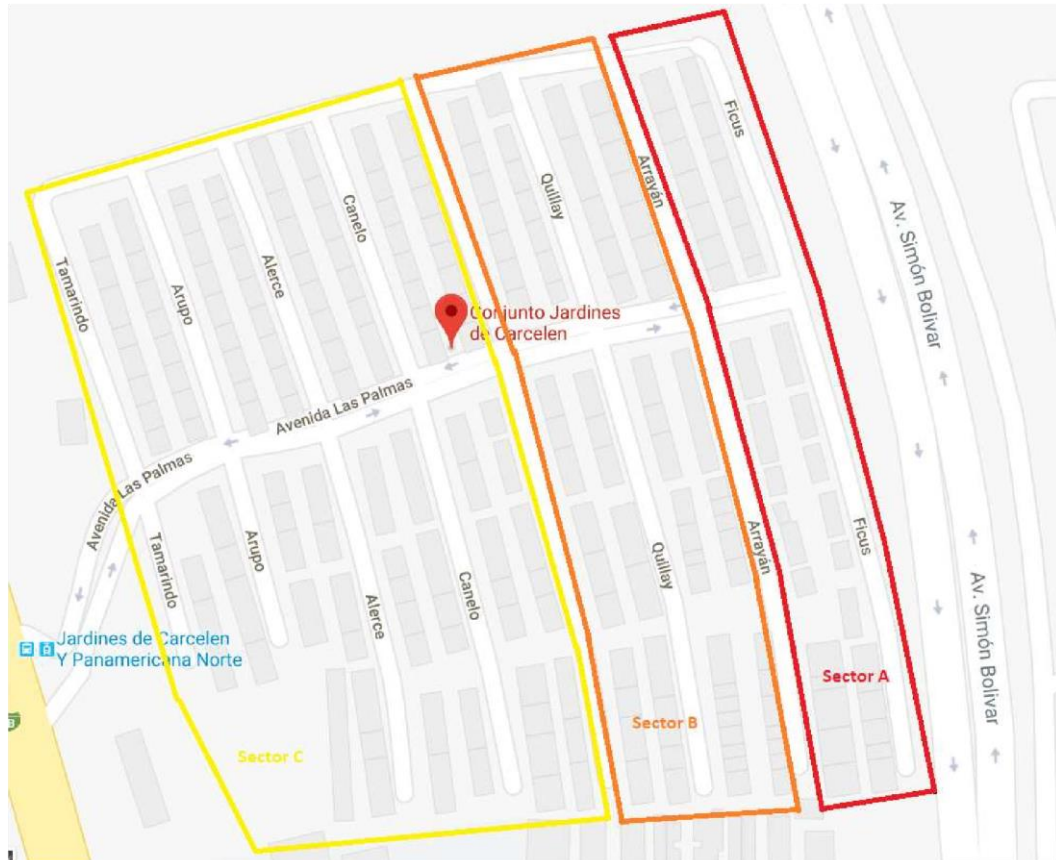
- Masculino
 Femenino

2. Edad *

Marca solo un óvalo.

- 18 a 28
 29 a 40
 41 a 50
 51 a 60
 mayor a 60

3 Sector *



Marca solo un óvalo.

- A
- B
- C

4. ¿Cuánto tiempo lleva viviendo en su domicilio? *

Marca solo un óvalo.

- Menos de 1 años
- Entre 1 y 3 años
- Entre 3 y 5 años
- Entre 6 y 9 años
- Mas de 10 años

5. El domicilio donde usted reside es: *

Marca solo un óvalo.

- Propio
- Arrendado
- Otro

6. **¿Cuántas horas al día permanece en su domicilio de lunes a viernes? ***

Marca solo un óvalo.

- 1 a 5 horas
- 5 a 10 horas
- 10 a 15 horas
- de 15 a 20 horas
- Todo el día

7. **¿Cuántas horas al día permanece en su domicilio los fines de semana? ***

Marca solo un óvalo.

- 1 a 5 horas
- 5 a 10 horas
- 10 a 15 horas
- de 15 a 20 horas
- Todo el día

Molestia frente a problemas ambientales

La contaminación ocasionada por el ruido en general conlleva efectos negativos tanto para la salud como para el desarrollo de las diferentes actividades programadas en el día a día, las molestias se pueden percibir desde diferentes fuentes de ruido subjetivas a la persona que siente la molestia, es importante definir al ruido como la perturbación acústica que no deseamos escuchar.

8. **¿Cuáles son los problemas ambientales que identifica en su sector de domicilio? ***

Selecciona todos los que correspondan.

- Basura
- Ruido
- Contaminación del aire
- Calidad del agua
- Otros

9. **¿Qué importancia le da usted a la influencia negativa del ruido en su día a día? ***

Marca solo un óvalo.

- Muy importante
- Importante
- Poco importante
- Nada importante

	1	2	3	4	5
Vecinos ruidosos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tráfico vehicular	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vehículos de entretenimiento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Construcciones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11. En la siguiente matriz indique la intensidad de molestia que usted siente por ruido *
 Marca solo un óvalo por fila.

	1	2	3	4	5
En la mañana (6am a 6pm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En la tarde (6pm a 10pm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En la noche (10pm a 6am)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ruido de tráfico y Extensión de la Av. Simón Bolívar.

En el estudio de la contaminación ambiental uno de los principales indicadores de molestia en las zonas urbanas es el ruido por tráfico, debido a que tiene algunas variables es importante cuantificar la molestia frente a las distintas componentes. La construcción la extensión de la Av. Simón Bolívar es un tema de interés para la investigación de impacto ambiental en zonas urbanas, la idea es analizar las molestias frente a esta obra de movilidad y poder analizar la necesidad y disponibilidad de implementar un plan de acción para controlar la molestia que los habitantes.

12. En la siguiente matriz, califique la molestia generada en su vivienda por cada clase de emisor de ruido rodado. Siendo 1 nada molesto y 5 extremadamente molesto. *
 Marca solo un óvalo por fila.

	1	2	3	4	5
Vehículos ligeros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Motocicletas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vehículos pesados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alarmas de los autos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pitos de los vehículo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

13. Con respecto a la extensión de la Av. Simón Bolívar, califique en la escala del 1 al 5 la molestia que percibe siendo 1 nada molesto y 5 extremadamente molesto. *
 Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

14 **¿Qué actividades se ven interrumpidas por la molestia de la contaminación por ruido de tráfico? ***

Selecciona todos los que correspondan.

- Ver televisión, video juegos, escuchar música / radio
- Mantener una conversación
- Momentos de relajación
- Lectura, concentración, estudio, trabajo
- Dormir
- Ninguna de las anteriores

15. **¿Ha tomado alguna medida contra el ruido en su domicilio? ***

Marca solo un óvalo.

- Si
- No

16. **Indique qué medida ha tomado y cuánto ha invertido en la misma ***

17. **Si usted debería definir en que hora le molesta más el ruido de la Simón Bolívar. Cual sería? ***

Marca solo un óvalo.

- Mañana
- Tarde
- Noche

18. **¿Estaría dispuesto a pagar por una solución frente al ruido en la Av. Simón Bolívar? ***

Marca solo un óvalo.

- Si
- No

ANEXO 4B

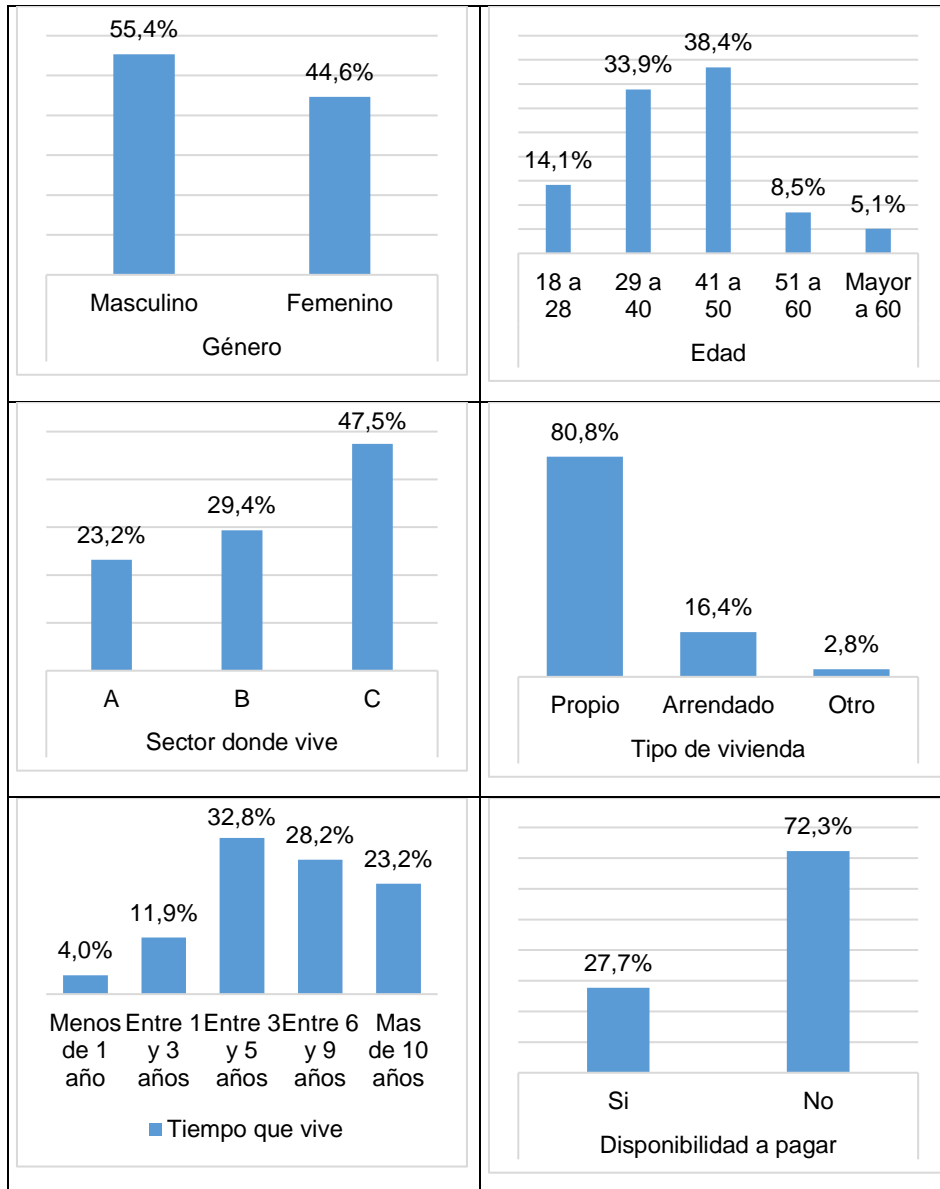
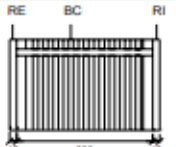
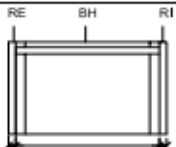


Figura 44. Resultados de la primera parte de la encuesta socio – acústica y la disponibilidad a pagar.

ANEXO 5A

FACHADA Hoja principal de fábrica con revestimiento continuo							
SIN CÁMARA DE AIRE							
Sin aislamiento							
RE revestimiento exterior continuo HP hoja principal BH fábrica de bloque de hormigón ⁽²⁾ BC fábrica de bloque cerámico RI revestimiento interior formado por un enlucido, enfoscado o un alicatado							
Código	Sección	Datos entrada	HS	HE ⁽¹⁾	HR ⁽²⁾		
		RE	GI	R (W/m ² K)	R _A (dBA)	R _{AB} (dBA)	m (kg/m ²)
F 9.1		R1	3	0,88	51	48	264
		R3	5		[52]	[49]	[283]
F 9.2		R1	3	0,46 ⁽²⁾ 1,15 ⁽⁴⁾	53 ⁽²⁾	50 ⁽²⁾	318 ⁽²⁾
		R3	5		46 ⁽⁴⁾	43 ⁽⁴⁾	202 ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ El factor de temperatura de la superficie interior, $f_{s,ai}$ se calculará según la siguiente expresión: $f_{s,ai}=1-U \cdot 0,25$

⁽²⁾ En el caso de elementos de fábrica de ladrillo aparecen dos valores de m, de R_A y de R_{AB}; el primero de ellos es un valor mínimo y el segundo, que figura **entre corchetes**, es un valor medio

⁽³⁾ Valores de R, m, R_A y R_{AB} para fábricas de bloque o ladrillo de hormigón convencional o de áridos densos

⁽⁴⁾ Valores de R, m, R_A y R_{AB} para fábricas de bloque o ladrillo de hormigón de áridos ligeros

⁽⁵⁾ Cuando la hoja principal sea de bloque de hormigón, salvo cuando sea curado en autoclave, el valor de la absorción de los bloques o ladrillos medido según el ensayo de UNE 41170:1989EX debe ser como máximo 0,32 g/cm³.

Figura 45. Especificaciones de una fachada sin aislamiento, fabricada de bloque de hormigón y cerámica.

Tomado de (España, 2010)

ANEXO 5B

VENTANA sin capialzado o capialzado por el exterior											
Distancia entre ventanas, $d \geq 10$ cm											
Composición		HR ⁽⁶⁾									
		Ventanas deslizantes ⁽¹⁾					Ventanas no practicables, batientes y oscilobatientes ⁽²⁾				
Tipo	Espesor (mm)	R _W (dB)	C (dB)	C _{tr} (dB)	R _A (dBA)	R _{A,tr} (dBA)	R _W (dB)	C (dB)	C _{tr} (dB)	R _A (dBA)	R _{A,tr} (dBA)
Vidrio sencillo	4	27	-1	-1	26	26	29	-2	-3	27	26
	6	28	-1	-1	27	27	31	-2	-3	29	28
	8	29	-1	-2	28	27	32	-2	-3	30	29
	10	29	-1	-2	28	27	33	-2	-3	31	30
	12 ⁽⁵⁾	29	-1	-1	28	28	34	0	-2	34	32
Vidrio laminar ⁽³⁾	3+3										
	4+4										
	6+6	29	-1	-2	28	27	32	-1	-3	31	29
	8+8	29	-1	-2	28	27	33	-1	-3	32	30
	10+10	29	-1	-2	28	27	34	-1	-3	33	31
Unidades de vidrio aislante ⁽⁴⁾ (cámara de aire de 6 a 20 mm)	4-(6...20)-4	27	-1	-2	26	25	32	-1	-5	31	27
	4-(6...20)-6	29	-1	-2	28	27	34	-1	-4	33	30
	4-(6...20)-8	29	-1	-2	28	27	34	-1	-4	33	30
	4-(6...20)-10	29	-1	-2	28	27	35	-1	-4	34	31
	6-(6...20)-6	28	-1	-2	27	26	33	-1	-4	32	29
	6-(6...20)-8	29	-1	-2	28	27	35	-1	-5	34	30
	6-(6...20)-10 ⁽⁵⁾	29	-1	-1	28	28	35	-1	-3	34	32
Unidades de vidrio aislante y vidrio laminar ⁽³⁾⁽⁴⁾ (cámara de aire de 6 a 20 mm)	6-(6...20)-6+6	29	-1	-2	28	27	34	-1	-4	33	30
	6-(6...20)-10+10 ⁽⁵⁾	-	-	-	-	-	36	-1	-4	35	32

Figura 46. Especificaciones de ventanas simples.

Tomado de (España, 2010)

ANEXO 5C

VENTANAS DOBLES										
Distancia entre ventanas, $d \geq 10$ cm										
Ventana exterior			Ventana interior			HR				
Acristalamiento		Sistema de apertura	Acristalamiento		Sistema de apertura	R_w (dB)	C (dB)	C_{π} (dB)	R_A (dB)	$R_{A,tr}$ (dB)
Tipo	Espesor (mm)		Tipo	Espesor (mm)						
Vidrio sencillo o unidad de vidrio aislante	6 8 4-6-4 ⁽¹⁾	deslizante	unidad de vidrio aislante	4-(6...12)-(4...8) ⁽¹⁾	deslizante	42	-1	-2	41	40
	oscilobatiente				47	-1	-3	46	44	

Figura 47. Especificaciones de un sistema de ventana doble según el Catálogo de Elementos Constructivos.

Tomado de (España, 2010)

