



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO DEL TÚNEL GUAYASAMÍN DE
LA CIUDAD DE QUITO

AUTOR

Ronny David Morocho Simbaña

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO DEL TÚNEL GUAYASAMÍN DE LA
CIUDAD DE QUITO

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

Profesor Guía

MSc. Miguel Ángel Chávez Avilés

Autor

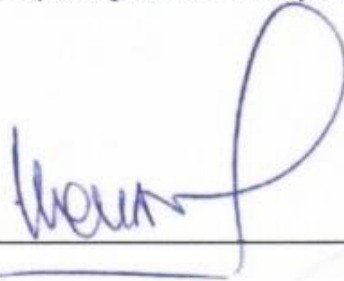
Ronny David Morocho Simbaña

Año

2020

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Evaluación del impacto acústico del túnel Guayasamín de la ciudad de Quito, a través de reuniones periódicas con el estudiante Ronny David Morocho Simbaña, en el semestre 202020, 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 DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Evaluación del impacto acústico del túnel Guayasamín de la ciudad de Quito, del estudiante Ronny David Morocho Simbaña, en el semestre 202020, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



Carlo Andrés Jurado Orellana

Doctor en Acústica

CI: 1757027915

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"



Ronny David Morocho Simbaña

CI: 1723543862

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por todo el apoyo brindado a lo largo de mi carrera. Asimismo a los docentes que ayudaron a formarme como profesional. Finalmente agradezco a la vida por darme la fortaleza de seguir luchando cada día.

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres, quienes hicieron posible este sueño. Para Isaac y Dana, mis hermanos, que pueda servir de ejemplo todo el sacrificio que ha significado terminar esta bonita carrera

RESUMEN

El presente trabajo evalúa el impacto sonoro ambiental producido por el túnel Oswaldo Guayasamín, sobre la población que se ubica en los sectores aledaños. Se presentan dos métodos de evaluación de impacto: el primero es un método cuantitativo, donde se realiza un modelo digital del entorno, validado a través de mediciones in situ, para identificar las zonas de influencia generadas por el ruido del túnel. Asimismo, las mediciones in situ están en referencia a normativas de evaluación de ruido ambiental como la UNE EN ISO 1996-2.

Para el método cualitativo, se realizan encuestas socioacústicas para conocer la percepción que tienen los moradores sobre el ruido y la molestia que les causa. La encuesta se realizó a 86 habitantes que residen en las zonas más afectadas por el ruido del túnel.

Los resultados de la evaluación de impacto indican que existen zonas afectadas por el ruido del túnel, con niveles sonoros que superan lo recomendado por normativas internacionales. Asimismo, se identificó que existen habitantes afectados por el ruido del túnel. En la parte de las encuestas realizadas a los habitantes se muestra que existe molestia por el ruido del túnel y los efectos negativos que produce.

Finalmente, en base a los resultados obtenidos en la evaluación de impacto, se establecen ciertas medidas de mitigación de ruido que puedan ayudar a controlar la calidad acústica del entorno del túnel Guayasamín.

Palabras clave: ruido en túneles, molestia, impacto sonoro

ABSTRACT

The present document evaluates the environmental sound impact produced by the Oswaldo Guayasamín tunnel, on the population that is located in the nearby sectors. Two impact evaluation methods are presented: the first is a quantitative method, where a digital model of the environment is made, validated through noise measurements, to identify the zones of influence generated by tunnel noise. The noise measurements are in reference to environmental noise assessment regulations such as UNE EN ISO 1996-2.

For the qualitative method, acoustic surveys are carried out to know the perception that the inhabitants have about the noise and the inconvenience that it causes. The survey was carried out with 86 inhabitants who live in the areas most affected by tunnel noise.

The results of the impact evaluation indicate that there are areas affected by tunnel noise, with sound levels that exceed the value recommended by international regulations. Likewise, it was identified that there are inhabitants affected by the noise of the tunnel. In the part of the surveys, it is shown that there is annoyance due to the noise of the tunnel and the negative effects it produces.

Finally, based on the results obtained in the impact evaluation, certain noise mitigation measures are established that can help control the acoustic quality of the Guayasamín tunnel environment.

Keywords: noise in tunnels, annoyance, sound impact

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Marco Referencial	4
1.3. Alcance	4
1.4. Justificación	5
1.5. Objetivo General.....	6
1.6. Objetivos Específicos	6
1.7. Hipótesis.....	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Contaminación acústica.....	6
2.1.1. Problemática del ruido ambiental	7
2.1.2. Contaminación acústica en el Distrito Metropolitano de Quito.....	8
2.2. Normativa de emisión de ruido y ruido ambiental- Resolución 627 de Colombia	8
2.3. Impacto sonoro ambiental	9
2.4. Efectos nocivos del ruido en la salud.....	10
2.5. Ruido Urbano	12
2.6. Ruido en el Hogar	12
2.7. Ruido de tráfico vehicular	12
2.8. Ruido en Túneles (Efecto túnel).....	13
2.9. Indicadores de ruido ambiental	14
2.9.1. Nivel continuo equivalente Leq, T	14
2.10. Curva de Ponderación A y C	15
2.11. Modelo predictivo	16
2.11.1. ISO 9613-2 Método general de cálculo.....	17
2.11.2. Modelo RLS90.....	17
2.12. Mapa de Ruido ambiental.....	18

2.13. Encuestas socio acústicas	18
3. METODOLOGÍA	19
3.1. Zona de estudio y delimitación de áreas acústicas.....	19
3.1.1. Análisis del terreno	20
3.1.2. Situación actual de la fuente de ruido	21
3.1.3. Tráfico vehicular en el túnel Guayasamín	23
3.1.4. Estado operacional de las turbinas de aire.....	25
3.2. Análisis acústico de la zona de estudio.....	26
3.2.1. Normativas internacionales	26
3.2.2. Mediciones de ruido en el túnel Guayasamín.....	27
3.2.3. Modelo computacional	31
3.2.3.1. Validación del modelo digital.	32
3.3. Evaluación del impacto acústico según los objetivos de calidad acústica	33
3.3.1. Mapa de ruido ambiental del túnel Guayasamín	33
3.3.2. Objetivos de calidad acústica.....	33
3.3.3. Áreas de sensibilidad acústica en el sector del túnel Guayasamín	34
3.3.4. Evaluación del ruido ambiental en zonas de influencia	35
3.3.5. Evaluación de las zonas afectadas por el ruido del túnel Guayasamín	36
3.3.6. Habitantes afectados	37
3.3.7. Análisis comparativo entre escenarios	40
3.4. Evaluación del impacto acústico por medio de encuestas socio acústicas.....	40
3.5. Medidas correctivas	41
4. RESULTADOS	41
4.1. Espectro frecuencial del túnel Guayasamín	42
4.2. Análisis de mediciones in situ	43
4.3. Validación del modelo computacional.....	44
4.4. Mapa de ruido del Túnel Guayasamín	45

4.5. Evaluación del Impacto acústico según los objetivos de calidad acústica	50
4.5.1. Evaluación del ruido ambiental en zonas cercanas al túnel Guayasamín (Modelo computacional)	50
4.5.2. Áreas de sensibilidad acústica identificadas cerca del túnel Guayasamín.	52
4.5.3. Niveles de ruido en zonas afectadas por el túnel Guayasamín-Período diurno	53
4.5.3.1. Niveles diurnos (Ld) mayores a 75 dBA	54
4.5.3.2. Niveles diurnos (Ld) entre 70-75 dBA.....	54
4.5.3.3. Niveles diurnos (Ld) entre 65-70 dBA.....	57
4.5.3.4. Total de habitantes afectados por el ruido del túnel Guayasamín-Período diurno	60
4.5.4. Niveles de ruido en zonas afectadas por el túnel Guayasamín-Período nocturno	61
4.5.4.1. Niveles nocturnos (Ln) entre 65 - 70 dBA.....	61
4.5.4.2. Niveles nocturnos (Ln) entre 60 - 65 dBA.....	63
4.5.4.3. Niveles nocturnos (Ln) entre 55 - 60 dBA.....	65
4.5.4.4. Niveles nocturnos (Ln) entre 50 - 55 dBA.....	67
4.5.4.5. Total de habitantes afectados por el ruido del túnel Guayasamín-Período nocturno.....	69
4.6. Impacto acústico sin influencia del túnel Guayasamín	69
4.7. Encuestas socio acústicas	73
4.7.1. Información General	73
4.7.2. Problemas ambientales que identifica el encuestado.....	74
4.7.3. Impacto negativo del túnel Guayasamín	79
4.8. Medidas correctivas/ preventivas	80
4.8.1. Funcionamiento parcial de las turbinas.....	80
4.8.2. Control de velocidad	84
4.8.3. Tratamiento acústico en el interior del túnel.....	85
4.9. Resumen y discusión de resultados	87
4.9.1. Resumen de resultados	87
4.9.2. Discusión	88

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
5.1. Conclusiones	93
5.2. Recomendaciones.....	95
REFERENCIAS	97
ANEXOS	103

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Para discutir el tema de impacto sonoro ambiental, se debe tener conocimiento de lo que es el ruido hoy en día y los efectos negativos que puede producir en el ser humano. Es así que se lo define como un sonido indeseado que produce molestia en las personas.

En la actualidad, el ruido es uno de los principales contaminantes ambientales que afectan directamente al ser humano, llegando a causar problemas en la calidad de vida y salud de las personas. Por ello, en los últimos años se ha venido declarando al ruido como un problema ambiental grave para la población (Muñoz, 2011).

La contaminación acústica se puede dar en todos los lugares de una ciudad, ya sea el sector rural o urbano, siendo este último el más afectado. Generalmente, el sector urbano se caracteriza por tener mayor población, ser de mayor extensión geográfica y tener mejor desarrollo en la parte de infraestructuras con respecto a las zonas rurales (Arguello, 2018).

En ese sentido, se puede decir que el sector urbano de una ciudad es el más ruidoso, por las características mencionadas anteriormente. Por ello, se conoce que los lugares con mayor influencia de personas, generan más ruido en la ciudad. Es el caso de las autopistas, por donde se movilizan a diario miles de personas, convirtiéndose en lugares de alta contaminación acústica, por el ruido de los automotores (Vargas & Vargas, 2017).

Aunque el ruido de tráfico es el caso más conocido de contaminación acústica, los túneles, que forman parte de un sistema vial, también podrían convertirse en

fuentes contaminantes de ruido. El constante paso de vehículos y el funcionamiento de las turbinas para controlar la temperatura del aire interno, pueden generar problemas de ruido ambiental en la población que se ubica en las inmediaciones del túnel.

Es así, que en Málaga-España se llevó a cabo el estudio acústico del túnel de Alcázaba, ya que existían fuertes denuncias de la población por los altos niveles de ruido que generaba el túnel. Los resultados del estudio, demostraron que los habitantes de los sectores aledaños al túnel estaban expuestos a niveles sonoros que superaban los 85 dBA en el día. En consecuencia a estos resultados, el ayuntamiento de la ciudad realizó un proceso de acondicionamiento acústico al túnel, mejorando las condiciones acústicas del sector (Aragüez del Corral, 2015).

Como se ha visto, el ruido de un túnel puede alcanzar niveles perjudiciales para el bienestar de la población y puede existir un impacto ambiental sobre las zonas aledañas. Es por esto que en Alicante- España se realizó un estudio sobre la evaluación del impacto acústico producido por el tren AVE, un tren de alta velocidad. En ese estudio se determinó que el túnel por donde cruza el tren, incrementa entre 3 y 5 dBA el nivel propio del tren, generando un aumento en los niveles de ruido de los sectores aledaños. Finalmente determinaron que los barrios que se encuentran alrededor del túnel, están expuestos a niveles de ruido por encima de los 65 dBA (Pamies, 2014).

Asimismo, docentes de la Universidad Internacional del Ecuador presentaron un estudio acerca del ruido generado por los túneles del Cerro Santa Ana y San Eduardo de la ciudad de Guayaquil. Los docentes realizaron mediciones en diferentes puntos alrededor del túnel, para conocer la situación actual de ruido ambiental de esos sectores. Las conclusiones en ese estudio, determinaron que el túnel del Cerro Santa Ana es el más ruidoso por existir mayor tráfico vehicular, afectando a las zonas aledañas del túnel (Noroña, 2018).

Como es de conocimiento, el tráfico vehicular es la fuente principal de ruido que está ligada directamente al túnel y también puede estar afectando a los sectores cercanos. Es así, que en la Universidad Espíritu Santo de Guayaquil se presentó un estudio sobre la contaminación acústica que generan los vehículos en los sectores aledaños a la vía Samborondón. Los investigadores concluyeron que las zonas evaluadas alcanzan los 73 dBA en el día y 75 dBA en la noche. Asimismo, determinaron que la fuente principal de contaminación acústica son los vehículos. Finalmente, concluyeron que el **ruido** aumenta en cuanto es mayor el flujo vehicular, afectando las zonas residenciales cercanas a la vía (Guijarro, Terán, & Valdez, 2016).

De igual manera, en la ciudad de Loja se realizó un estudio sobre la contaminación acústica que generan los vehículos de esa ciudad. Los resultados fueron considerables, pues los niveles diurnos en las vías principales alcanzaban los 71 dBA, mientras que en las vías secundarias superaban los 65 dBA. En ese mismo estudio, se concluyó que en la ciudad de Loja la causa principal de contaminación acústica son los automóviles (Hernández, 2018).

En Ecuador se han realizado varios estudios sobre contaminación acústica, como es el caso del mapa de ruido de la zona urbana de Quito. El proyecto realizado por docentes de la Universidad de las Américas, se basó en modelos de propagación de ruido mediante un software de predicción y descriptores de ruido. Los docentes afirman que el 25% de la población está expuesta a niveles diurnos (L_d) por encima de los 65 dBA, mientras que el 38% está expuesta a niveles nocturnos (L_n) por encima de los 55 dBA. Los investigadores concluyeron que los lugares más ruidosos de la ciudad están en el sector de la Marín, el Trébol y los túneles (Bravo et al., 2019).

Para finalizar, el mapa de ruido de Quito muestra la situación actual de ruido ambiental en el entorno urbano de la ciudad. Asimismo, determinaron que uno de los lugares más ruidosos son los túneles. Dado este antecedente, el ruido de

los túneles puede generar un impacto negativo sobre la población, por ende, se puede considerar como un problema ambiental que se debería controlar y tomar medidas de protección contra el ruido.

1.2. Marco Referencial

Los estudios realizados sobre contaminación acústica en el Ecuador, como el mapa de ruido de Quito, han sugerido que los sectores de los túneles son los más ruidosos. Se ha comprobado que dichos sectores se encuentran expuestos a niveles diurnos por encima de los 65 dBA y niveles nocturnos sobre los 55 dBA (Bravo et al., 2019). Por ello, se puede presumir que estas infraestructuras pueden convertirse en contaminantes de ruido y generar problemas en la población.

Generalmente los túneles están diseñados para solucionar el tráfico vehicular, sin embargo, se pueden generar problemas de ruido en las bocas, por el constante paso de vehículos y el funcionamiento de las turbinas de aire.

Ahora bien, se puede considerar a la boca del túnel como una fuente de ruido ambiental que afecta directamente al hogar. El ruido en el hogar se caracteriza por causar interferencias en todas las actividades que se desarrollan dentro de una vivienda, como la comunicación, el ocio, el trabajo en casa, el sueño y el entretenimiento. Por ello, para estudiar el problema de ruido que generan los túneles en la población, es necesario someterlo a una evaluación de impacto ambiental. Este estudio se ha propuesto encontrar situaciones acústicas negativas, que pueden originarse como consecuencia del ruido generado por los túneles en las zonas residenciales cercanas. Finalmente, lo que busca esta evaluación es estimar el porcentaje de la población que sufre un impacto sonoro negativo por influencia del túnel y la percepción que tienen del ruido.

1.3. Alcance

El presente estudio plantea evaluar el impacto acústico del túnel Guayasamín sobre la población que reside en sus alrededores. Dicha evaluación se realizará

en base a los resultados de un modelamiento computacional del entorno, que está validado a partir de mediciones in situ, y encuestas que evalúan el grado de molestia que sienten los moradores por el ruido del túnel.

Asimismo, con los resultados se podrá identificar las zonas más afectadas y se conocerá la cantidad de habitantes que están expuestos al ruido del túnel.

Finalmente, los resultados serán comparados con normativas internacionales de ruido ambiental y se podrá determinar si la población expuesta es sensible a sufrir un impacto negativo por el ruido del túnel.

1.4. Justificación

En el Ecuador no existe evidencia sobre estudios que evalúen el impacto acústico generado por túneles. Aunque se ha demostrado que son lugares ruidosos por influencia del tráfico vehicular, como en el mapa de ruido de Quito, no se dispone de información previa que pueda servir como antecedente para evaluar el efecto que genera el ruido del túnel en el entorno.

De igual manera, en la Secretaría de Ambiente de la ciudad de Quito se reciben a diario entre 20 y 30 denuncias sobre ruido, según la misma secretaría, han existido denuncias por el ruido del túnel Guayasamín (Contreras, 2013). Asimismo, los moradores se han quejado del ruido exagerado que existe a la salida del túnel (El Telégrafo, 2016).

Es por ello que se va a desarrollar el presente estudio, para evaluar el impacto sonoro ambiental que pueda generar el túnel, sobre los sectores aledaños.

1.5. Objetivo General

Evaluar el impacto sonoro ambiental producido por el túnel Oswaldo Guayasamín de la ciudad de Quito, sobre una población ubicada a los extremos del túnel.

1.6. Objetivos Específicos

- Evaluar el entorno acústico de los sectores aledaños al túnel Guayasamín, a través de un modelamiento computacional.
- Determinar el grado de molestia que siente la población por el ruido del túnel, por medio de encuestas socio acústicas.

1.7. Hipótesis

El ruido generado por el túnel Guayasamín, produce un impacto ambiental negativo en las **personas que viven** en las inmediaciones del túnel.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Contaminación acústica

La contaminación ambiental que se genera en una ciudad, se puede dar por la presencia de elementos perjudiciales que aparecen en el medio ambiente, ya sean estos de características biológicas o físicas, y que representan un problema en el bienestar de los seres vivos. En ese sentido, el caso más conocido de contaminación que se ha venido tratando en los últimos años, es la contaminación por ruido (Contreras et al., 2017).

La contaminación acústica es un problema ambiental de la sociedad actual a nivel mundial. Este contaminante se caracteriza por no generar residuos

acumulativos en el medio ambiente, sin embargo, puede afectar directamente a los seres humanos. Según la Organización Mundial de la Salud, en Europa, más del 25% de habitantes están siendo afectados por el ruido, con problemas en su salud y calidad de vida (Ortiz, 2014).

Asimismo, el ruido es la primera causa de contaminación ambiental en Francia. La OMS ha realizado estudios y se ha determinado que Japón es el país más ruidoso, mientras que España ocupa el segundo lugar. Además, según la Unión Europea, más de 80 millones de personas en Europa están expuestas a niveles de ruido por encima de los 65 dBA y 170 millones superan los 55 dBA (Amable et al., 2017).

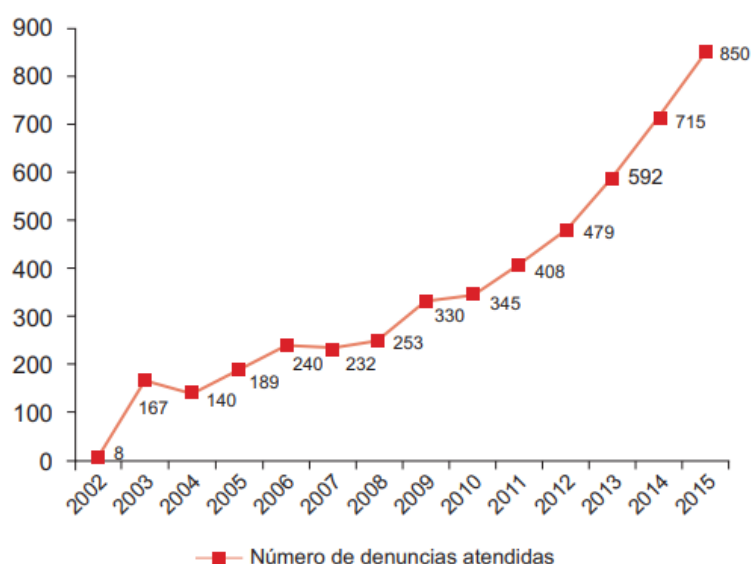


Figura 1. Incremento de denuncias atendidas por temas de ruido- Ciudad de México.

Tomado de (Cohen, 2017).

2.1.1. Problemática del ruido ambiental

En la actualidad los países se convierten en zonas más industrializadas, lo que produce que el ruido y no solamente este sino otros agentes de contaminación,

representen una amenaza para el bienestar mundial. En Europa se han realizado estudios donde se ha determinado que el ruido emitido se debe a diversas fuentes. Uno de los principales emisores de ruido son los **vehículos**, le sigue la industria, para luego dejar en últimas instancias al ferrocarril (Cohen, 2017).

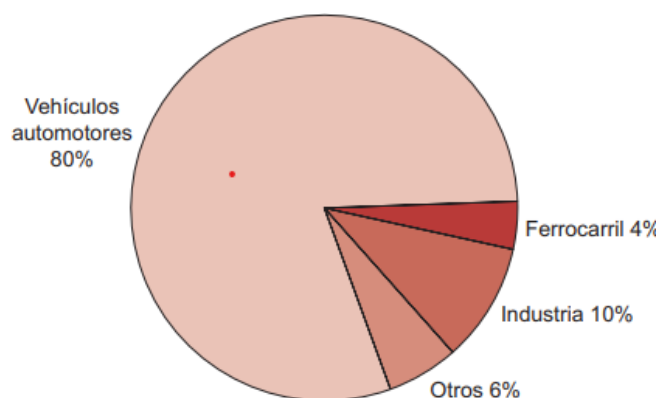


Figura 2. Fuentes generadoras de ruido.

Tomado de (Cohen, 2017).

2.1.2. Contaminación acústica en el Distrito Metropolitano de Quito

En la ciudad de Quito, al ser la capital, existen factores como: la industria, el tráfico vehicular y el comercio que generan ruido en toda la urbe (El Comercio, 2019). En las comisarías de la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente se han registrado entre 20 y 30 denuncias semanales por contaminación de ruido. Los denunciantes se han quejado sobre los altos niveles de ruido que están ocasionando problemas en su salud (Contreras, 2013).

2.2. Normativa de emisión de ruido y ruido ambiental- Resolución 627 de Colombia

En Colombia a través del **Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial** se publicó la resolución 627 del 2006 donde se pacta la norma de emisión de ruido y ruido ambiental. Esta normativa se encarga de regular y gestionar el ruido ambiental, mediante estándares recomendados para

diferentes sectores que dependen del uso de suelo. Asimismo, se establece un horario para aplicar dicha resolución en el período diurno y nocturno (Casas, Betancur, & Erazo, 2015). En la tabla 1 se muestran los niveles de ruido ambiental permitidos para el día y la noche, de acuerdo a la Resolución 627.

Tabla 1.

Estándares máximos permitidos para el ruido ambiental.

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50
	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	70
	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	55
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Tomado de (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

2.3. Impacto sonoro ambiental

Existe un impacto acústico cuando la contaminación por ruido, generada por proyectos o la misma actividad humana, produce alteraciones en el medio ambiente. El daño al medio ambiente trae consigo ciertos riesgos que sufre la

población, la calidad de vida y salud de las personas son las más afectadas. Para evaluar el impacto de ruido ambiental se hace uso de diferentes parámetros, que dependerán de las características de la fuente, el entorno y la población expuesta. Finalmente, lo que se busca son tomar medidas de control de ruido para el bienestar de la población (Aliaga, 2013).

2.4. Efectos nocivos del ruido en la salud

El ruido está considerado como un problema grave para la salud. Puede causar patologías a las personas que están expuestas constantemente a niveles altos de ruido. Esto puede generar molestia, perturbaciones, estrés y en el peor de los casos daños en el oído (Correa, Osorio, & Carreño, 2018).

Los efectos adversos del ruido pueden ser desde un dolor de cabeza hasta la alteración del sistema auditivo y otros órganos vitales.

2.4.1. Efectos auditivos

- **Pérdida de audición**

Se produce cuando la persona experimenta un aumento en el umbral de audición por alteraciones morfológicas en el nervio auditivo. El ruido ambiental es un causante del daño auditivo. La pérdida de audición provocada por el ruido se conoce como socioacusia (Recio et al., 2016).

- **Reclutamiento coclear**

Sucede cuando la persona afectada experimenta una percepción anormal del sonido, generalmente relacionada a la **pérdida** de audición (Recio et al., 2016).

- **Tinnitus**

Percepción de sonidos producidos por el oído interno. Se produce por la exposición a niveles altos de ruido. El tinnitus puede generar molestia, interrupciones en el sueño, falta de concentración y estrés (Curet & Roitman, 2016).

2.4.2. Efectos no auditivos

Se generan cuando la persona experimenta alteraciones en otros órganos aparte del oído.

- **Efectos no auditivos a más de 60 dB**

Pueden generar dilatación en las pupilas y parpadeo incontrolable. Otro de los síntomas más negativos son: taquicardia, aumento de la presión, dolor de cabeza, dolores en los músculos y agitación respiratoria (Amable et al., 2017).

- **Efectos no auditivos a más de 80 dB**

Causan gastritis, enfermedades cardiovasculares y el aumento de glucosa en la sangre (Amable et al., 2017).

- **Molestia**

Es una sensación de incomodidad que sufre un individuo o población por efectos de cualquier factor, en este caso el ruido. Esta sensación puede ocasionar cambios en el estado de ánimo o en el comportamiento de la persona. Se ha determinado que a niveles por encima de los 80 dBA el comportamiento de un individuo comienza a ser más agresivo. Otra de las consecuencias por molestia de ruido puede ser el **estrés** y provocar efectos fisiológicos. Finalmente, el grado de molestia depende en gran medida de la reacción natural de cada persona y de la fuente de ruido (Correa et al., 2018).

- **Alteraciones en el sueño**

Es el efecto negativo del ruido más conocido en el mundo. Sucede cuando la persona tiene dificultad para conciliar el sueño. Cuando se produce este efecto, la persona puede presentar una serie de consecuencias fisiológicas. Los efectos fisiológicos que comúnmente provoca la alteración del sueño son: taquicardia, aumentos en la presión arterial y movimientos involuntarios durante el sueño (Peñaloza, Flores, & Hernández, 2016).

2.5. Ruido Urbano

Problemática ambiental que con el tiempo puede afectar considerablemente a la población. Es el ruido global generado por todas las fuentes que se puedan encontrar en el entorno, como por ejemplo: los vehículos y zonas industriales (Bastián, 2015).

2.6. Ruido en el Hogar

La molestia que se genera por ruido en los hogares es causada por diversas fuentes de ruido externas hacia una zona habitable. El ruido ambiental puede causar interferencias en todas las actividades que se desarrollan dentro de una vivienda, las más comunes pueden ser la comunicación, el ocio, el trabajo en casa y el entretenimiento (Peral, Fabra, & Campillo, 2017).

2.7. Ruido de tráfico vehicular

En la zona urbana de las ciudades se origina lo que se conoce como ruido de transporte automotor. Se lo considera como una de las principales fuentes de ruido que contaminan el ambiente. Se conoce que el ruido incrementa cuanto mayor es el flujo de vehículos, alcanzado los 85 dB en horas del alto tráfico vehicular (Sandoval, 2005).

El ruido de tráfico vehicular se compone de diversas fuentes de ruido, las principales son: el motor, los neumáticos y el ruido aerodinámico. El ruido que genera el vehículo dependerá de su velocidad. Se sabe que a una velocidad de 50 km/h predomina el ruido del motor, entre 60 y 70 km/h domina el ruido de los neumáticos y para velocidades sobre los 80 km/h se percibe el ruido aerodinámico (Barti, 2016).

2.8. Ruido en Túneles (Efecto túnel)

Un túnel es una obra vial que está pensada en solucionar problemas de tráfico vehicular, sin embargo, se pueden generar problemas de ruido cerca de la boca. Asimismo, se han identificado fuentes importantes de ruido que están ligadas directamente a la infraestructura del túnel, como el sistema de ventilación interno. Los ventiladores generan ruido por el funcionamiento de sus turbinas, ocasionando altos niveles sonoros en el interior del túnel (Buitron, 2017).

Se conoce que el tráfico vehicular es la principal fuente de ruido relacionada con el túnel. Cuando un vehículo entra por la boca, se produce lo que se conoce como **Efecto túnel**. Este efecto, se produce por la acumulación de energía acústica en el interior del túnel. Al momento que un vehículo ingresa, parte del ruido emitido se dirige hacia el exterior por medio de la boca. Otra parte del ruido, que se “atrapa” en el interior del túnel, comienza a reflejarse en la superficie interna, produciendo así un campo completamente reverberante. Finalmente, estas reflexiones viajan por toda la estructura del túnel, hasta propagarse en el exterior (Alegre, 2018).

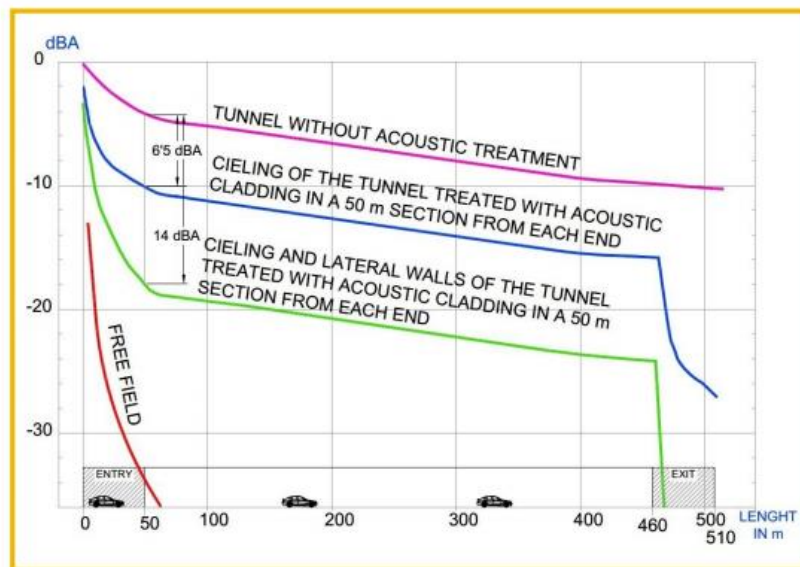


Figura 3. Elevación del nivel de ruido en los accesos a la boca de los túneles.

Tomado de (Alegre, 2018).

2.9. Indicadores de ruido ambiental

Generalmente para evaluar la cantidad de ruido que puede producir una fuente, se utilizan indicadores de ruido, como parámetros de medición que dependen directamente de la fuente y el medio de propagación (Bejarano & Diago, 2018).

2.9.1. Nivel continuo equivalente $L_{eq,T}$

Este indicador determina el nivel sonoro equivalente de un ruido constante en un intervalo de medición, cuya energía acústica, es igual al ruido medido real en el mismo intervalo de tiempo (Morales, Franco, & Espinosa, 2017). En términos generales, este indicador expresa la cantidad de energía acústica que percibe el ser humano, en un determinado intervalo de tiempo. Su ecuación matemática es la siguiente:

$$L_{eq,T} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{P^2(t)}{P_{ref}^2} dt \right) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

- T=período
- P= presión
- P ref= Presión de referencia 20 μ Pa

2.10. Curva de Ponderación A y C

Una curva de ponderación es una simplificación de la respuesta en frecuencia que tiene el oído humano. La ponderación A es equivalente a la sensibilidad del oído humano, pues atenúa mayormente en las bajas frecuencias (-50 dB a 20 Hz y -20 dB a 100 HZ) mientras que en media y altas frecuencias existe una menor atenuación (Arguedas & Larico, 2017).

La curva de ponderación C de igual forma sigue la sensibilidad del oído con una repuesta en frecuencia más lineal, sin embargo incluye más del límite de bajas frecuencias que la ponderación A, se conoce que esta escala ponderada es la mejor para ruidos de baja frecuencia (Witt, 2015).

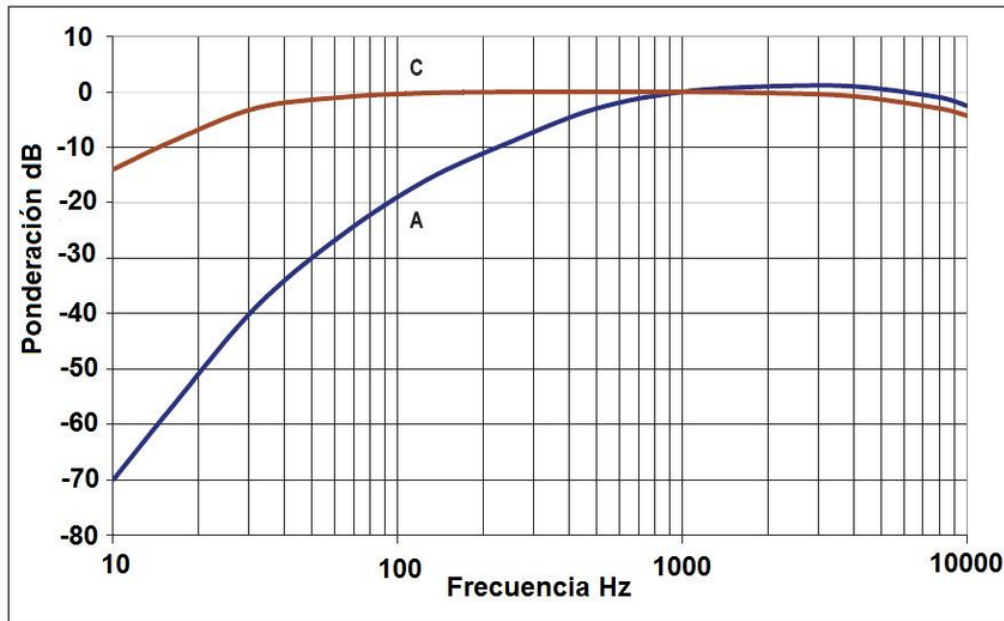


Figura 4. Curva de ponderación A y C.

Tomado de (Montoya, 2016).

2.11. Modelo predictivo

La propagación del sonido en la atmósfera, dependerá de varios fenómenos físicos. Dichos fenómenos son: la divergencia geométrica, efectos del suelo, efectos meteorológicos y difracción. Si bien, calcular cada uno de estos factores es una tarea muy compleja, se han desarrollado modelos predictivos que permiten obtener resultados más exactos (Cruz, 2017).

En términos generales un modelo de predicción es la representación de una realidad compleja, que se fundamenta en esquemas teóricos. El objetivo de un modelo es evaluar el comportamiento de esa realidad y determinar condiciones que puedan suceder a futuro (González, 2005).

En acústica, un modelo computacional permite predecir los niveles de ruido producidos por una fuente y evaluar el entorno urbano. Es así que en la rama de acústica ambiental, se han desarrollado diferentes modelos predictivos de ruido urbano, que permiten evaluar el impacto acústico generado por una fuente (Espinosa, 2018).

2.11.1. ISO 9613-2 Método general de cálculo

Es una normativa que establece un método de cálculo para predecir la atenuación del ruido en el ambiente. Este método, específicamente se basa en algoritmos de bandas de octava (63 a 8 kHz) para calcular la propagación del sonido de una o varias fuentes (ISO 9613-2, 1996).

La ISO 9613 es una de las normativas en las que se basa **CadnaA**, que es un software de predicción de ruido ambiental, para calcular los niveles de ruido ambiental de una fuente.

2.11.2. Modelo RLS90

Es el modelo estándar alemán para la predicción de ruido producido por carreteras. Está constituido por dos modelos, el primer modelo determina los niveles de ruido a 25 m de la vía y 4 m sobre el suelo (L_{me}). Asimismo se considera las características del tráfico como: velocidad, tipo de vehículo, superficie de la vía, pendiente y las reflexiones (Gómez, 2015).

$$L_{me} = L_{25} + C_s + C_{rs} + C_g + C_r \quad \text{Ecuación (2)}$$

- **C_s**, correcciones de velocidad
- **C_{rs}**, correcciones superficie de la carretera
- **C_g**, correcciones gradiente
- **C_r**, correcciones reflexión múltiple

Donde L_{25} :

$$L_{25} = 37.5 + 10 \times \log_{10} [M \times (1 + 0.082 \times P)] \quad \text{Ecuación (3)}$$

- **M** es el número de vehículos por hora
- **P** es el porcentaje de vehículos pesados

El segundo modelo determina la forma de propagación. El nivel de ruido se calcula haciendo una suma de niveles sonoros generados por todas las fuentes. Este modelo considera la distancia de la vía, la atenuación por distancia, la absorción del aire y la temperatura (Gómez, 2015).

Por último, el RLS90 es uno de los modelos más utilizados en CadnaA para realizar cálculos de predicción de ruido de tráfico rodado.

2.12. Mapa de Ruido ambiental

Un mapa de ruido ambiental contiene registros de los niveles sonoros de una determinada zona geográfica. Mediante estos registros se pueden identificar las fuentes que generan más ruido, las áreas más afectadas y lo más importante, realizar predicciones que permitan establecer medidas para mitigar el ruido. Finalmente, un mapa acústico puede ser de gran utilidad para realizar planificaciones urbanas futuras, con las medidas necesarias contra el ruido ambiental (Tacuri, Calderón, & Sellers, 2016).

2.13. Encuestas socio acústicas

Una encuesta es un proceso de recolección de información social durante una investigación. Dentro de una encuesta se puede cuantificar los resultados para generalizar a la población evaluada (Kuznik, Hurtado, & Espinal, 2010) .

Para ruido ambiental, una encuesta socio acústica evalúa la **molestia** percibida por el ruido en los individuos afectados. Define los estándares fundamentales para el levantamiento de información y establece valores métricos de ruido (ISO/TS15666, 2003).

3. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó para desarrollar el siguiente estudio acústico, se basa en un análisis de las diferentes etapas en las que se produce la transmisión de ruido generada por una fuente. Partiendo desde la fuente misma, el medio de propagación y el receptor, sobre todo este último que es la etapa más importante en este estudio.

Para desarrollar la evaluación de impacto se combinaron métodos cuantitativos y cualitativos. En la parte cuantitativa se realizó un modelo computacional del campo sonoro que está validado a partir de mediciones in situ. Por otro lado, el método cualitativo se basó en realizar encuestas a la población expuesta sobre la percepción que tienen del ruido generado por el túnel Guayasamín.

Finalmente, se analizó el impacto ambiental que puede generar el ruido del túnel Guayasamín sobre la población de las zonas más afectadas. Para ello, se debe disponer de objetivos de calidad acústica que se puedan aplicar para las zonas más sensibles al ruido. En el Ecuador no se dispone de una normativa nacional que regule los objetivos de calidad acústica, ni áreas de sensibilidad acústica. Por esta razón, se utilizó como referencia normativas internacionales.

3.1. Zona de estudio y delimitación de áreas acústicas

Para comenzar con el **estudio de impacto acústico** se realizó la delimitación de las zonas de estudio a partir de un análisis del terreno. Para este estudio, los sectores evaluados fueron los barrios Bellavista y Bolaños que se encuentran ubicados a los extremos del túnel. Asimismo, se analizó el estado operacional del túnel Guayasamín y el tráfico vehicular en la vía Interoceánica.

3.1.1. Análisis del terreno

El barrio Bellavista se encuentra ubicado en el norte de la ciudad de Quito, cruzando la quebrada del Batán. Este sector se caracteriza por ser uno de los más exclusivos de la ciudad y en esta parte se ubica la entrada norte del túnel Guayasamín.

El otro sector es el barrio Bolaños y se encuentra ubicado en el costado oriental del túnel. Un total de 100 familias viven en este sector (Cangui, 2019).



Figura 5. Mapa de la zona de estudio.

Adaptado de (Open Street Map, 2020).



Figura 6. Sector Bolaños.

Tomado de (Google Maps, 2020).



Figura 7. Sector Bellavista.

Tomado de (Google Maps, 2020).

3.1.2. Situación actual de la fuente de ruido

- **Situación actual del túnel Oswaldo Guayasamín**

Es una obra vial muy importante en la ciudad de Quito, tiene una longitud de aproximadamente 1340 m siendo el túnel más grande del país. Comienza en el sector de Bellavista y termina en el sector del barrio Bolaños. Forma parte de la

vía interoceánica que comunica el centro norte de Quito con la **Av. Simón Bolívar**, los sectores de los valles y el Aeropuerto Internacional de Quito. Cuenta con sistemas: contra incendios, cámaras de vigilancia, semaforización y paneles eléctricos (Villacis, 2016).

El túnel Guayasamín fue inaugurado en el 2005 y tuvo un costo de US \$ 33 millones. Esta obra fue financiada entre el Municipio de Quito y el Gobierno ecuatoriano. Está diseñado para una velocidad de 50 km/h y tiene una pendiente del 5% (Terán, 2016).



Figura 8. Entrada Centro Norte- Sector Bellavista.

Tomado de (Google Maps, 2020).



Figura 9. Entrada valles-Sector Bolaños.

Tomado de (Google Maps, 2020).

- **Información técnica**

Tabla 2.

Características técnicas del Túnel Guayasamín.

Túnel Guayasamín	
Longitud	1340 m
Altura medida desde el centro	6,7 m
Sección	11,5 m
Carriles de circulación (2)	3,5 m
Carril de emergencia	2,5 m

Tomado de (Villacis, 2016).

3.1.3. Tráfico vehicular en el túnel Guayasamín

Como se puede entender, el tráfico vehicular que circula por el túnel puede variar de acuerdo al número de vehículos y el tipo. Según la Ordenanza Metropolitana 103 del Municipio de Quito, por el túnel Guayasamín no está permitido el tráfico pesado, ni el paso de autobuses. La Empresa Metropolitana de Movilidad y Obras públicas ha establecido que de lunes a viernes en horas pico cambia el sentido del túnel a un solo carril. De 7:00 a 9:30 en el sentido Valles-Quito y de 17:00 a 20:00 en el sentido Quito-valles.

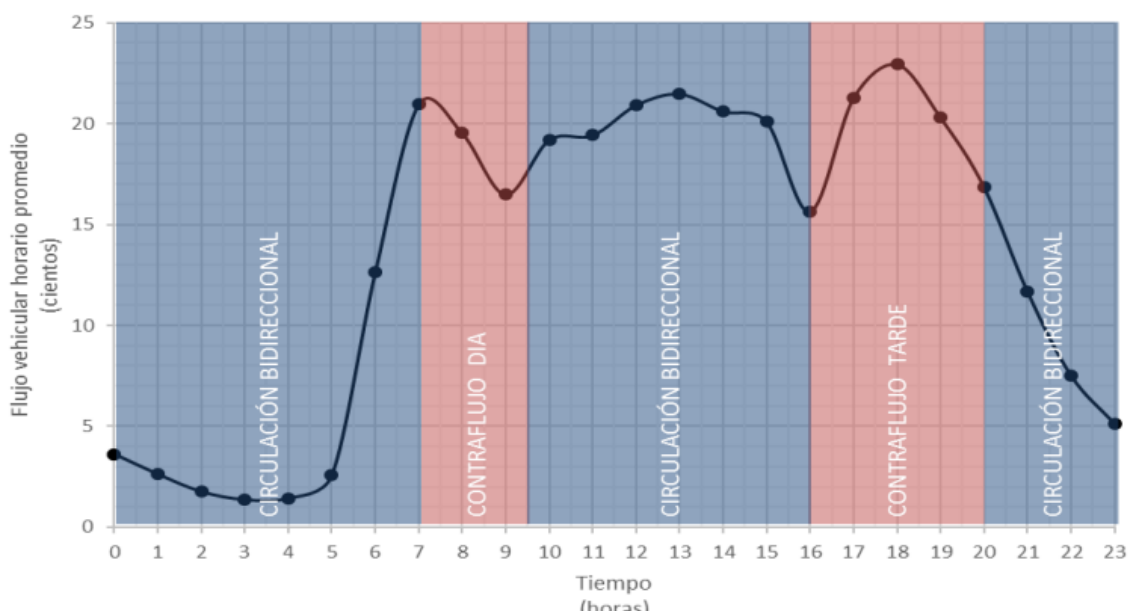


Figura 10. Flujo vehicular horario promedio en el túnel Guayasamín.

Tomado de (Terán, 2016).

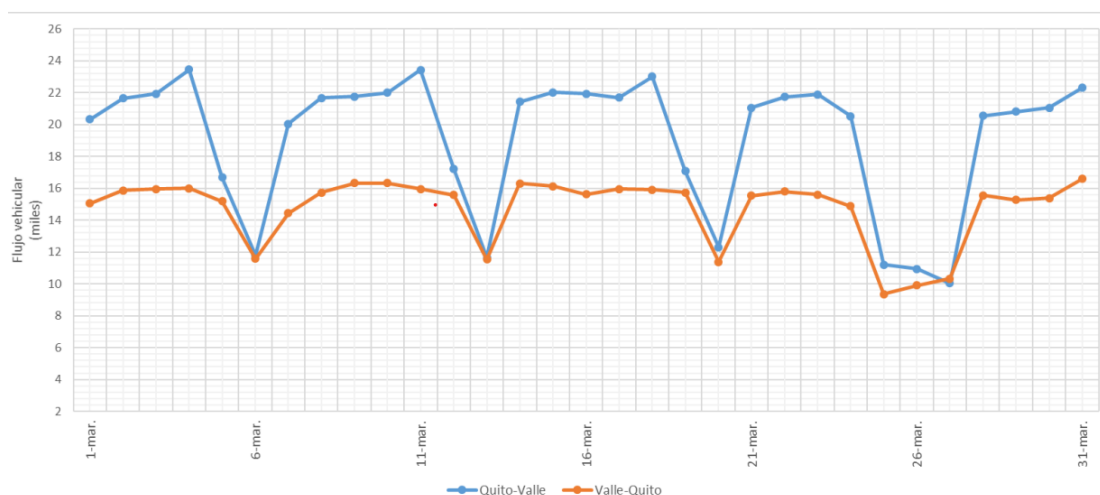


Figura 11. Flujo vehicular por el túnel Guayasamín en ambos sentidos.

Tomado de (Terán, 2016).

Tomando los puntos más altos de acuerdo a la gráfica 11, se determinó que:

- Sentido Quito-Valles 23.700 veh/día
- Sentido Valles - Quito 16.000 veh/día

Un total de **39.700 veh/día** circulan por el túnel Guayasamín.

De acuerdo a la **Agencia Nacional de Tránsito** la velocidad máxima permitida por el interior del túnel es de **50 km/h** para vehículos livianos (El Comercio, 2019).

Tabla 3.

Flujo vehicular liviano en el túnel Guayasamín.

	Vehículos/hora	V. ligeros (km/h)
Día	2.389	50
Noche	429	50

Adaptado de (Terán, 2016).

Por último, en el túnel Guayasamín está prohibido el paso de tráfico pesado, por ende, se descartó la influencia de este tipo de transporte para este estudio.

3.1.4. Estado operacional de las turbinas de aire

De acuerdo a información dada por funcionarios encargados del mantenimiento del túnel Guayasamín. El horario de funcionamiento de las turbinas es el siguiente:

Tabla 4

Horario de funcionamiento de las turbinas del túnel Guayasamín.

Horario- Lunes a Domingo
7:00 a 12:00
15:00 a 20:00
22:00 a 1:00

3.2. Análisis acústico de la zona de estudio

Continuando con el desarrollo del estudio de impacto, se realizó un análisis acústico de la zona de estudio. Para ello, se realizaron mediciones de ruido con un sonómetro integrador de clase 1 en los alrededores del túnel Guayasamín, para después validarlas en el modelo digital y con esos resultados identificar las zonas de influencia. Lo que se busca por medio de este análisis, es evaluar los niveles de ruido de las zonas más afectadas por el túnel.

3.2.1. Normativas internacionales

Se especifica la normativa de referencia utilizada para las mediciones con el sonómetro, en relación a las características de la fuente de ruido.

- **UNE- ISO 1996-2** Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental.
Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental.
- **UNE- ISO 3746** Determinación de los niveles de potencia acústica y de los niveles de energía acústica de fuentes de ruido a partir de la presión acústica.
- **ISO 9613-2:** Atenuación del sonido durante su propagación al aire libre.
Parte 2: Método general de cálculo.

3.2.2. Mediciones de ruido en el túnel Guayasamín

- **Descripción del lugar de medición**

Se realizaron mediciones de ruido con un sonómetro en los alrededores de la boca del túnel Guayasamín, en el sector de Bellavista. Se evaluó en este lugar puesto que se asumió que los niveles sonoros son los mismos en las dos bocas. El lugar de medición fue un terreno poroso con áreas verdes alrededor del túnel, dado que en las zonas residenciales cercanas, el acceso fue restringido.

En el momento de la medición, las turbinas se encontraban encendidas y el tráfico vehicular era estable, con un flujo de autos continuo. Las mediciones se realizaron en estas condiciones, con el fin de registrar la suma de energía acústica que se da en la boca del túnel, por el paso de vehículos y el funcionamiento de los ventiladores.

- **Localización de puntos de medición en el túnel Guayasamín.**

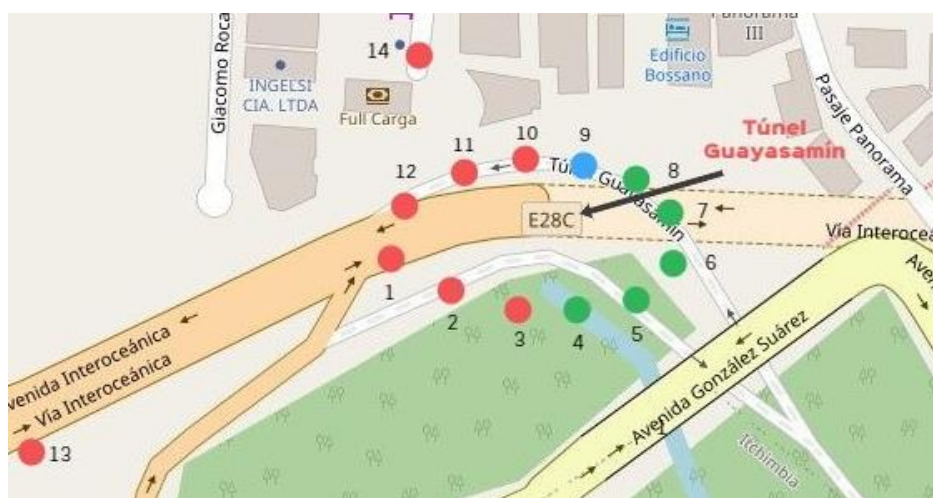


Figura 12. Posiciones de los puntos de medición.

Adaptado de (Open Street Map, 2020).

En primer lugar, el sonómetro se ubicó en 12 puntos alrededor del túnel, ver en figura 12. Los puntos están distribuidos en un ángulo de 30° a una distancia de 30 metros de la boca del túnel, todo esto en referencia a la norma **ISO 3746**.

Estas posiciones permitieron cuantificar la mayor contribución del ruido generado por el túnel en su entorno y minimizar la influencia de otras fuentes de ruido. Por último, el equipo de medición se ubicó a 185 metros del túnel para tomar una muestra del ruido de tráfico y validarlo en el modelo digital.

Nota: La norma ISO 3746 se utilizó únicamente como referencia para la ubicación geográfica del sonómetro, dado que esta norma establece posiciones adecuadas para medir una fuente sonora.

- **Posiciones del equipo de medición**

El sonómetro se ubicó a 1,50 metros del suelo y manteniendo una distancia de al menos 2 metros de una superficie reflectante, esto para todos los puntos de medición. Esto en referencia a la ISO 1996-2

- **Período de medición**

Tabla 5.

Especificaciones del período de medición.

Período	Horario	Tiempo de medición	Fecha
Vespertino	15:00 a 17:30	5 minutos	8/11/2019

El intervalo de medición fue de 5 minutos por cada uno de los doce puntos, esto de acuerdo a la norma ISO 1996-2. La variación temporal de la emisión de ruido del túnel debe ser razonablemente estable, por ello, se registraron los niveles sonoros en condiciones normales de funcionamiento de las turbinas y tráfico vehicular.

Por otro lado, para el período nocturno **no** se realizaron mediciones por motivos de seguridad del equipo de medición, además, se deben realizar trámites municipales para la obtención de permisos que acrediten realizar mediciones de ruido en el túnel Guayasamín por la noche.

- **Condiciones Meteorológicas**

En las siguientes imágenes se puede observar las condiciones meteorológicas en las que se realizaron las mediciones de ruido con el sonómetro.

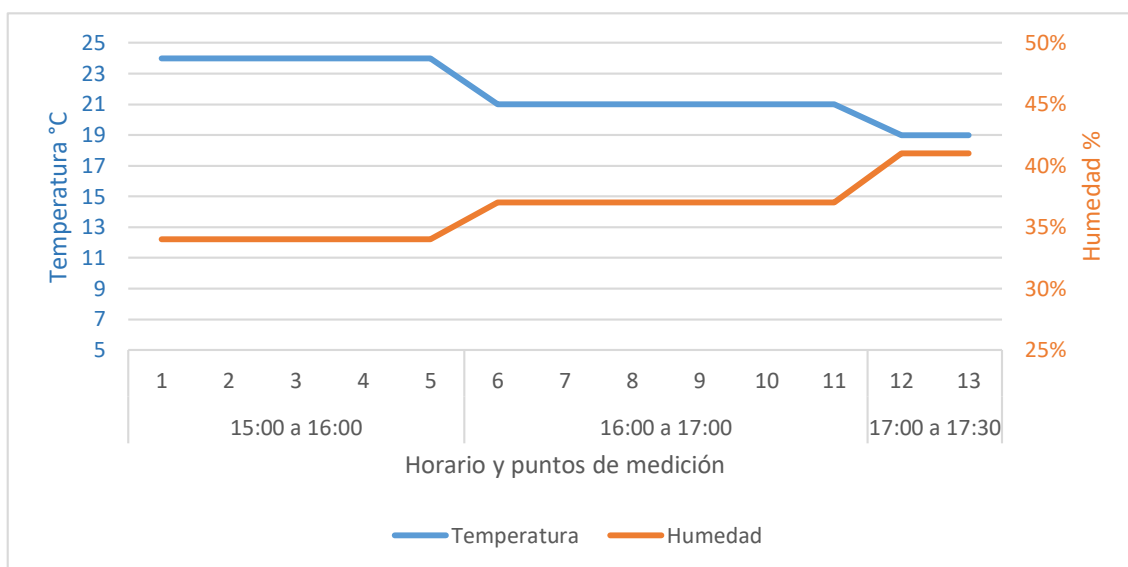


Figura 13. Condiciones meteorológicas durante las mediciones de ruido en el túnel Guayasamín.

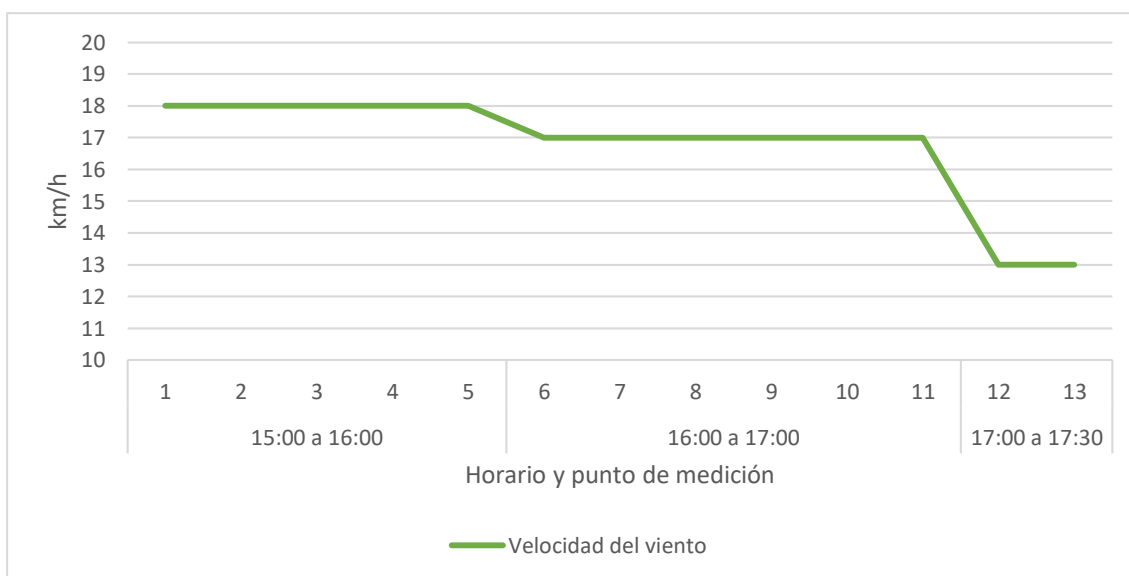


Figura 14. Velocidad del viento durante las mediciones.

- **Ruido Residual**

Para realizar las mediciones in situ se descartaron otras fuentes que, además del túnel, puedan estar generando ruido en la población. Se tomó en cuenta que la fuente sonora supere al menos en 3 dB al ruido de fondo, esto de acuerdo a la norma ISO 1996-2 para ruido residual.

- **Equipo de Mediciones**

Para realizar las mediciones se utilizó un sonómetro promediador-integrador CESVA SC310 de clase 1 (precisión de ± 1 dB). Se trata de un sonómetro que analiza los espectros en tiempo real ya sean en bandas de octava de 31,5 Hz a 16 kHz y tercio de octava 20 Hz a 10kHz. Permite mediciones del Nivel Sonoro Equivalente LAeqT. El equipo cumple con los requisitos de la norma UNE-EN 60651:1996 **Sonómetros de clase 1** y con la UNE EN 60804:2002 **Sonómetros. Integrador-promediador clase 1**.



Figura 15. Sonómetro CESVA SC310.

El equipo de medición tuvo una calibración inicial y final para comprobar que las mediciones sean precisas. La calibración fue de 93.9 dB a 1kHz.

- **Mediciones**

Se registró el Nivel de presión sonora continuo equivalente (LeqT) por cada punto de medición. El contenido espectral del ruido del túnel está medido en bandas 1/1 octava desde los 31,5 Hz hasta 8 kHz. Los cálculos de LeqT se pueden ver en Anexo 1.

3.2.3. Modelo computacional

Se desarrolló un modelo digital del entorno acústico de los sectores aledaños al túnel y se modelaron las fuentes de ruido. Este modelamiento permitió evaluar el campo sonoro de los sectores aledaños al túnel. Finalmente, los métodos de cálculo que se utilizaron para el modelo digital fueron el **RLS 90** para ruido de tráfico e **ISO 9613-2** para predecir los niveles de ruido ambiental emitidos por el túnel.

- **Topografía**

Los sectores evaluados tienen un terreno irregular, con zonas montañosas que pueden influir a la propagación del sonido. Por ende, se obtuvo información de la topografía de las zonas evaluadas a través de sus curvas de nivel. Esta información otorgará las alturas relativas de todo el terreno para una aproximación máxima a la realidad. Las curvas de nivel se obtuvieron a través de Global Mapper.

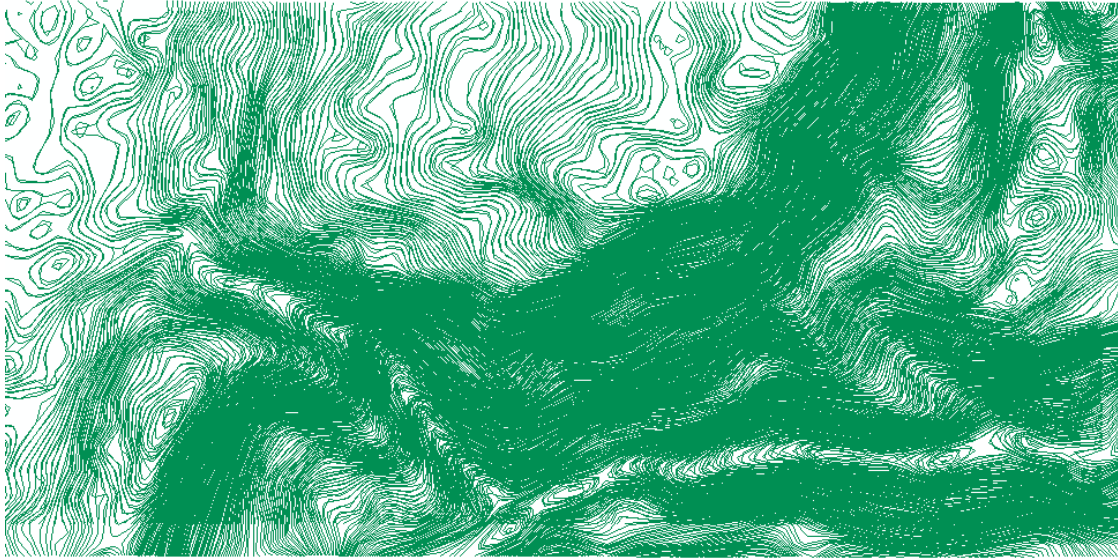


Figura 16. Curvas de nivel del sector del Túnel Guayasamín

3.2.3.1. Validación del modelo digital.

El modelo digital se validó con las mediciones in situ y los datos de tráfico en la vía Interoceánica. Para el túnel, se estimó el nivel de potencia acústica y la directividad, por medio del modelo computacional, para identificar las zonas de influencia más afectadas. Asimismo, se compararon los niveles obtenidos por la simulación con los niveles sonoros registrados en las mediciones.

Para el modelo digital se consideraron los coeficientes de absorción del terreno y los edificios. Para este estudio se utilizó un coeficiente de absorción de 0,2 para edificaciones, dado que es un valor equivalente a la absorción del hormigón, material con el cual están construidos la mayoría de edificios. Por otro lado, para el terreno se escogió un coeficiente de 0,6 puesto que en la norma ISO9613 se recomienda que para suelos cubiertos de hierba, como es el terreno de este estudio, el coeficiente debe ser alto. Asimismo se conoce que el coeficiente promedio de absorción de un suelo poroso es de 0,6. Finalmente se escogieron estos valores para que los resultados del modelamiento no varíen significativamente con respecto a los datos medidos con el sonómetro, ya que la absorción del terreno puede influir en las mediciones.

3.3. Evaluación del impacto acústico según los objetivos de calidad acústica

Para evaluar el impacto acústico generado por el túnel Guayasamín, se establecieron objetivos de calidad acústica en referencia a la **Resolución 627 de Colombia**. Seguido de esto, se identificaron las áreas más sensibles frente al ruido del túnel. Se realizó un análisis de niveles diurnos (Ld) y nocturnos (Ln) en los sectores cercanos al túnel, a través del modelo computacional, y se compararon con los valores recomendados por la normativa colombiana. Finalmente se identificaron las áreas más afectadas por el ruido del túnel y se determinó la población que se encuentra afectada por el ruido.

3.3.1. Mapa de ruido ambiental del túnel Guayasamín

Una vez validado el modelo de propagación, se aplicó una malla de cálculo para visualizar las zonas de influencia que genera el ruido del túnel. Dicha malla es un método gráfico de colores, normalmente en una gama cromática de 5 dB, que permite visualizar el campo sonoro de los sectores evaluados. Por último, la malla de cálculo está a 4 metros de altura en referencia a la norma ISO 1996-2.

3.3.2. Objetivos de calidad acústica

Después de identificar las zonas de influencia del túnel Guayasamín, es necesario establecer condiciones de calidad acústica para determinar el nivel de impacto que existe sobre las zonas afectadas. Como se dijo anteriormente, en el Ecuador no se dispone de una normativa nacional que regule los objetivos de calidad acústica, ni áreas de sensibilidad acústica. Por ello, se utilizó como referencia la **Resolución 627 de Colombia**, donde se establecen los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en función de cada sector.

Tabla 6.

Límites de ruido ambiental según la Resolución 627.

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50
	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	70
	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	55
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70
	Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55
Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.			
Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.			

Tomado de (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

3.3.3. Áreas de sensibilidad acústica en el sector del túnel Guayasamín

Seguido de esto, se identificaron las áreas de sensibilidad acústica que se ubican en los alrededores del túnel. Para los barrios de Bellavista y Bolaños, el sector más sensible frente al ruido del túnel es el **residencial**. Esta asignación de sector se da por el uso actual que tiene el terreno de las zonas evaluadas.

Tabla 7.

Límites de ruido ambiental para los subsectores que se identificaron en zonas cercanas al túnel Guayasamín, según los lineamientos de la Resolución 627.

Subsector	LAeq Día	LA eq Noche
Residencias	65	50

Tomado de (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

3.3.4. Evaluación del ruido ambiental en zonas de influencia

Después de establecer los objetivos de calidad acústica para los sectores que se ubican en las inmediaciones del túnel, se evaluó la situación de ruido ambiental, a través de un análisis a los niveles diurnos (Ld) y nocturnos (Ln) por medio del modelo digital. Se colocaron receptores en los sectores que se ubican a los extremos del túnel, y los resultados se compararon con los estándares recomendados por la normativa colombiana.

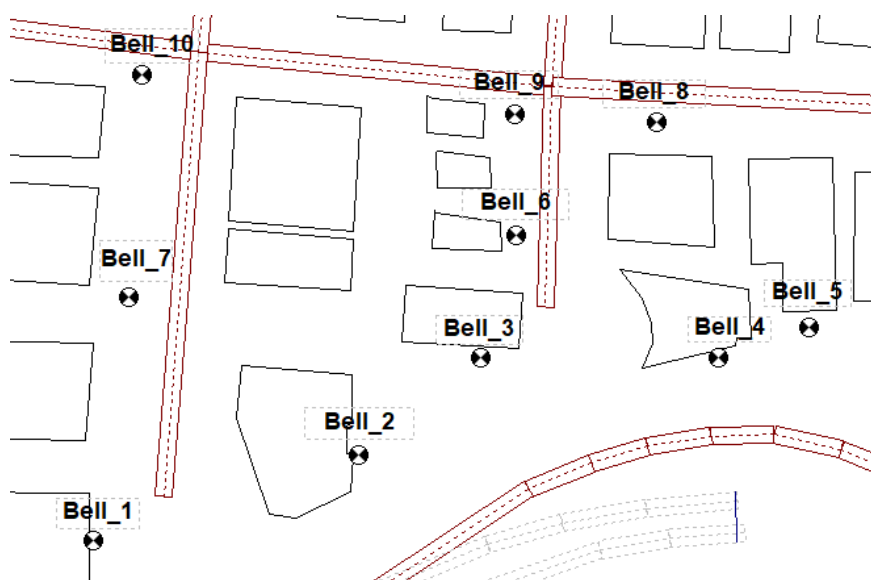


Figura 17. Receptores CadnaA- Sector Bellavista

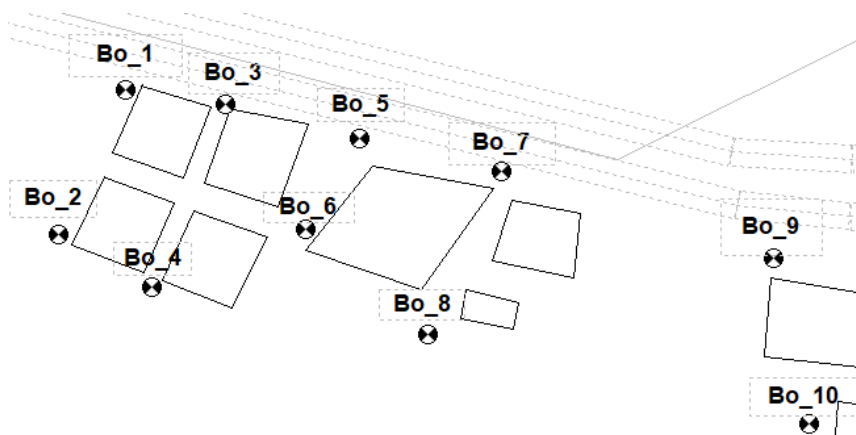


Figura 18. Receptores CadnaA- Sector Bolaños

3.3.5. Evaluación de las zonas afectadas por el ruido del túnel Guayasamín

Después de analizar los niveles diurnos y nocturnos en las zonas aledañas al túnel, se estableció un **área de influencia**, para identificar las superficies con niveles de ruido que superen los valores recomendados por la normativa colombiana para el período diurno y nocturno. El área de influencia se definió con respecto a las zonas que podrían verse más afectadas por el ruido, es así que la evaluación de impacto acústico se realizó en un área de 10.000 m² para Bellavista y 2.000 m² para Bolaños, ver en figura 19 y 20.

El análisis se clasificó en un rango de 5 dBA, en relación a la superación de los límites recomendados. La evaluación se centró en las zonas residenciales ubicadas en las inmediaciones del túnel, para determinar la población más afectada. Finalmente, se evaluaron los niveles de ruido en las residencias que se encuentran en zonas afectadas y se clasificaron al igual que las superficies, por niveles de ruido.



Figura 19. Superficie sometida a evaluación de impacto- Sector Bellavista
Adaptado de (Google Maps, 2020).



Figura 20. Superficie sometida a evaluación de impacto- Sector Bolaños
Adaptado de (Google Maps, 2020).

3.3.6. Habitantes afectados

La parte más importante de este estudio de impacto se ha enfocado a los habitantes que pueden estar siendo afectados por el ruido del túnel Guayasamín. En ese sentido, el análisis se centró en los moradores ubicados dentro del área de influencia, definida anteriormente, para estimar el número de habitantes afectados.

Como no se tienen registros oficiales de la cantidad de moradores en los barrios de Bellavista y Bolaños, se obtuvo información de la densidad poblacional de la ciudad de Quito. Según el INEC, la densidad poblacional es de **4,347.98 hab/km²**, en promedio **4 hab/100m²**. Además, la familia promedio ecuatoriana es de 4 integrantes (INEC, 2010).



Figura 21. Zona de influencia con posibles habitantes afectados- Sector Bellavista.

Adaptado de (Google Maps, 2020).



Figura 22. Zona de influencia con posibles habitantes afectados- Sector Bolaños.

Adaptado de (Google Maps, 2020).

Es así, que se realizó una estimación de la densidad urbana en el área de influencia del túnel Guayasamín. Se identificó que dentro de esta área existen zonas de edificios y zonas de viviendas unifamiliares (casas comunes), por ello, la densidad poblacional puede variar respecto al número total de habitantes que

residen en las inmediaciones del túnel. En ese sentido, se estimó la densidad poblacional de los edificios y viviendas unifamiliares en base a la superficie construida, es decir, se obtuvo el número de habitantes por cada 100 m² construidos. Para el caso de los edificios se consideró el número de plantas recomendadas por la Ordenanza 127 del Municipio de Quito que establece hasta 6 pisos de altura en zonas múltiples urbanas.

En la tabla 8 se muestra el número de habitantes por cada edificio identificado en el barrio Bellavista, asimismo se indican los habitantes por viviendas unifamiliares que se identificaron en los barrios de Bellavista y Bolaños.

Tabla 8.

Densidad urbana en la zona de influencia del túnel Guayasamín.

Barrio	Densidad Urbana				
	Edificios				
	Nombre	Area m2	# Pisos	Area total construida m2	# Personas
Bellavista	Pegasus	317.59	6	1905.54	76
	Monte	267.03	4	1068.12	43
	El Nogal	585.62	6	3513.72	141
	Montreu	374.61	6	2247.66	90
	Capricornio	530.12	6	3180.72	127
	Bossano	429.56	6	2577.36	103
	Gracia	552.53	4	2210.12	88
	Almera	304.17	4	1216.68	49
	Viviendas				
	Nombre	Área m2	# Viviendas	Área total construida	# Personas
	Unifamiliar	100	40	4000	160
Bolaños	Viviendas				
	Nombre	Área m2	# Viviendas	Área total construida	# Personas
	Unifamiliar	100	25	2500	100

Tabla 9.

Estimación de habitantes que residen en las zonas de influencia del túnel Guayasamín.

Zona	Total de habitantes de Bellavista y Bolaños	Área de influencia	Estimación de habitantes que residen en el área de influencia
Bellavista	2174	10.000 m ²	877
Bolaños	512	2.000 m ²	100
Total	2686	12.000	977

3.3.7. Análisis comparativo entre escenarios

En esta parte del análisis de impacto, por medio de la simulación computacional, se evaluaron dos escenarios acústicos: Uno con la influencia del túnel y el otro con el escenario hipotético sin la existencia del mismo. Se compararon los niveles sonoros actuales con los niveles obtenidos en el escenario sin túnel. Estos resultados sirvieron para conocer el riesgo ambiental que puede representar el túnel sobre la población cercana.

3.4. Evaluación del impacto acústico por medio de encuestas socio acústicas

Para la evaluación cualitativa se realizó una encuesta socio acústica, con el fin de conocer la percepción que tienen los habitantes sobre el ruido. Esta encuesta se aplicó a los moradores de los sectores de Bellavista y Bolaños. La encuesta incluye los contenidos que se recomiendan en la norma ISO/TS 15666 que establece los lineamientos para desarrollar las preguntas.

En primer lugar la encuesta se forma de 3 partes. La primera es información general sobre el encuestado, el género, rango de edad, lugar de residencia, etc.

La segunda parte estuvo enfocada en conocer la percepción que tienen los habitantes sobre el ruido en general y la importancia que le dan a este tema.

Finalmente la tercera y última parte está dirigida al impacto acústico del túnel Guayasamín. Se realizaron preguntas sobre la molestia que sienten los moradores por el ruido del túnel.

3.5. Medidas correctivas

En la última parte de la evaluación de impacto, se plantearon medidas correctivas, en caso de ser necesarias, y se comprobó su efectividad a través del modelo computacional. Estas medidas están en función de los resultados obtenidos y las necesidades de la zona de estudio.

4. RESULTADOS

Con los resultados de las mediciones in situ se obtuvo el espectro sonoro del túnel Guayasamín, asimismo, se pudo determinar el ***LAeq, 5min*** por punto de medición.

Los resultados obtenidos en el modelo computacional entregaron una estimación de la situación actual de ruido en las zonas cercanas al túnel Guayasamín. Se evaluaron los niveles de ruido de las superficies que son afectadas por el túnel y se determinó el número de residencias afectadas. Estos niveles se compararon con los valores recomendados por la **norma colombiana de emisión de ruido y ruido ambiental (Resolución 627)**, para determinar si los valores obtenidos

cumplen con dichas recomendaciones. Seguido de esto, se estimó el número de habitantes que en la actualidad están siendo afectados por el ruido del túnel.

Por otro lado, se tabularon las encuestas socio acústicas que se realizaron a los habitantes de Bellavista y Bolaños. Estas encuestas reflejaron el grado de molestia que sienten los habitantes por el ruido del túnel.

Con los resultados obtenidos por medio del modelo computacional y las encuestas, se determinó el nivel de **impacto acústico** que existe en la actualidad sobre la población de los sectores aledaños al túnel. Finalmente, las medidas correctivas que se plantearon para mejorar la calidad acústica de las zonas afectadas, mostraron mejores condiciones para los habitantes.

4.1. Espectro frecuencial del túnel Guayasamín

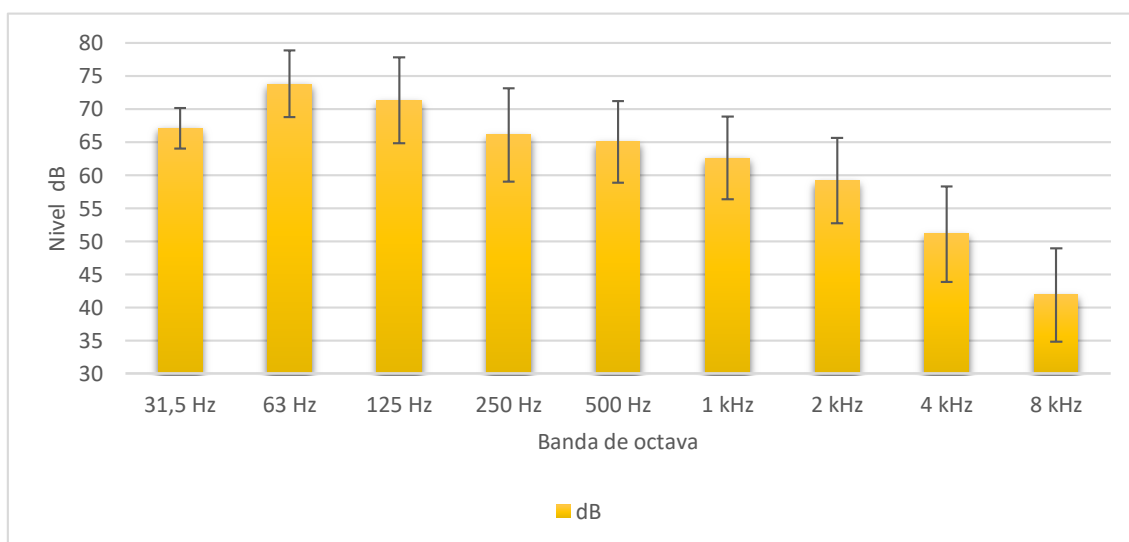


Figura 23. Espectro del ruido medido en el túnel Guayasamín.

Como se observa en la figura 23, el ruido del túnel Guayasamín tiene mayores componentes en bajas frecuencias, entre los 63 Hz y 250 Hz. Las medias frecuencias entre 500 Hz y 2 kHz se mantienen en niveles que no superan los

65 dB, mientras que el ruido del túnel en altas frecuencias, a partir de 4 kHz, va perdiendo componentes. Por ello, se puede presumir que el ruido del túnel es en particular de **baja frecuencia**.

4.2. Análisis de mediciones in situ

En los puntos donde se realizaron las mediciones in situ, se obtuvieron resultados de los niveles de ruido ambiental generados por el túnel Guayasamín. En la siguiente tabla se muestran los niveles que se registraron en las mediciones.

Tabla 10.

Mediciones en el túnel Guayasamín.

Zona	Punto de medición	LAeq, 5 min
Bellavista	1	69.8
	2	71.8
	3	67.8
	4	54.3
	5	58.4
	6	57.5
	7	54.6
	8	54.5
	9	53.2
	10	71.6
	11	67.2
	12	72.8
	13 (Vía)	69.7

Como se observa en la tabla 10, existen puntos que superan los valores recomendados por la normativa colombiana. Esto puede significar que los sectores aledaños al túnel, están siendo afectados por niveles de ruido que podrían ser perjudiciales para los habitantes que residen en esos sectores.

Estos resultados pueden darse por el efecto que se produce en la boca del túnel, por el paso de vehículos y el campo reverberante interno. Cuando un vehículo pasa por la boca, provoca aumentos del nivel sonoro en lugares cercanos y el nivel propio del vehículo se incrementa entre 7 y 10 dBA (Alegre, 2018).

Asimismo, el efecto reverberante que se produce en el interior del túnel, aportó en las mediciones. Es así, que la boca del túnel es un punto donde se concentra el ruido de tráfico y el ruido de las turbinas, por ende, en las mediciones se registró la sumatoria de estas dos fuentes.

Finalmente, con estos resultados se puede presumir que el túnel Guayasamín puede representar un problema de ruido para el entorno de sus alrededores.

4.3. Validación del modelo computacional

Con los resultados obtenidos en las mediciones in situ se realizó la validación del modelo computacional. El método de cálculo que se aplicó fue el **RLS90** para ruido de tráfico y la **ISO9613** para predecir los niveles de ruido ambiental de una fuente sonora.

Como se observa en la figura 24, la diferencia absoluta entre niveles medidos y modelados está dentro de un margen de 5 dBA, también ver en Anexos 2. La validación de datos se realizó para todos los puntos. Finalmente, esta validación determinó la exactitud y fiabilidad del modelo.

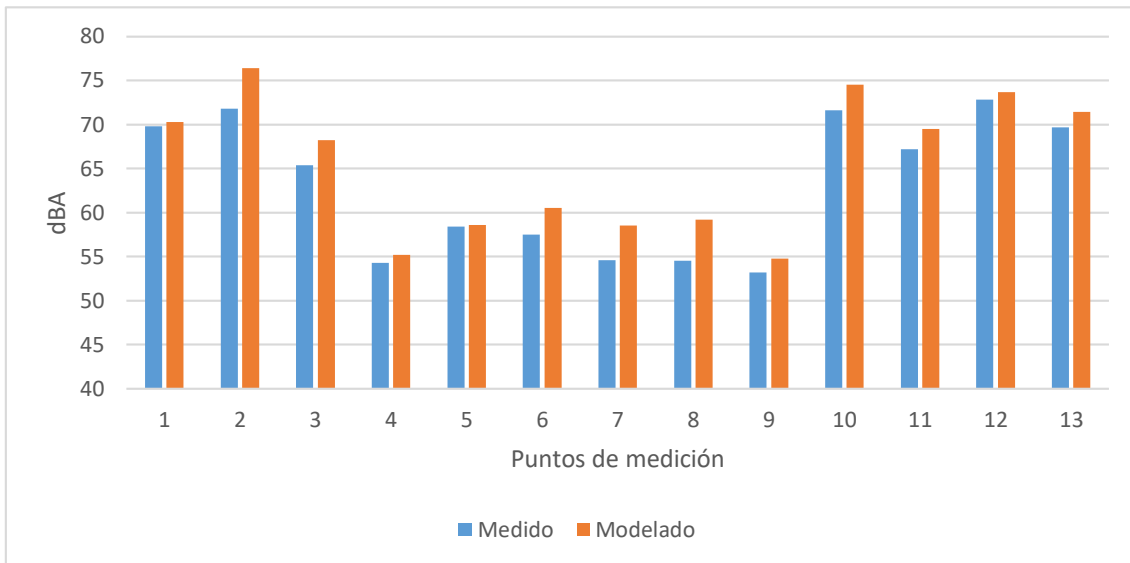


Figura 24. Validación de datos del modelo digital.

4.4. Mapa de ruido del Túnel Guayasamín

- **Mapa de ruido diurno**

Como se observa en la figura 25 y 26, para el período diurno existen zonas de influencia que alcanzan niveles diurnos (L_d) de hasta 75 dBA, superando el nivel recomendado por la resolución 627. Las residencias afectadas se encuentran en un radio de aproximadamente 120 metros.

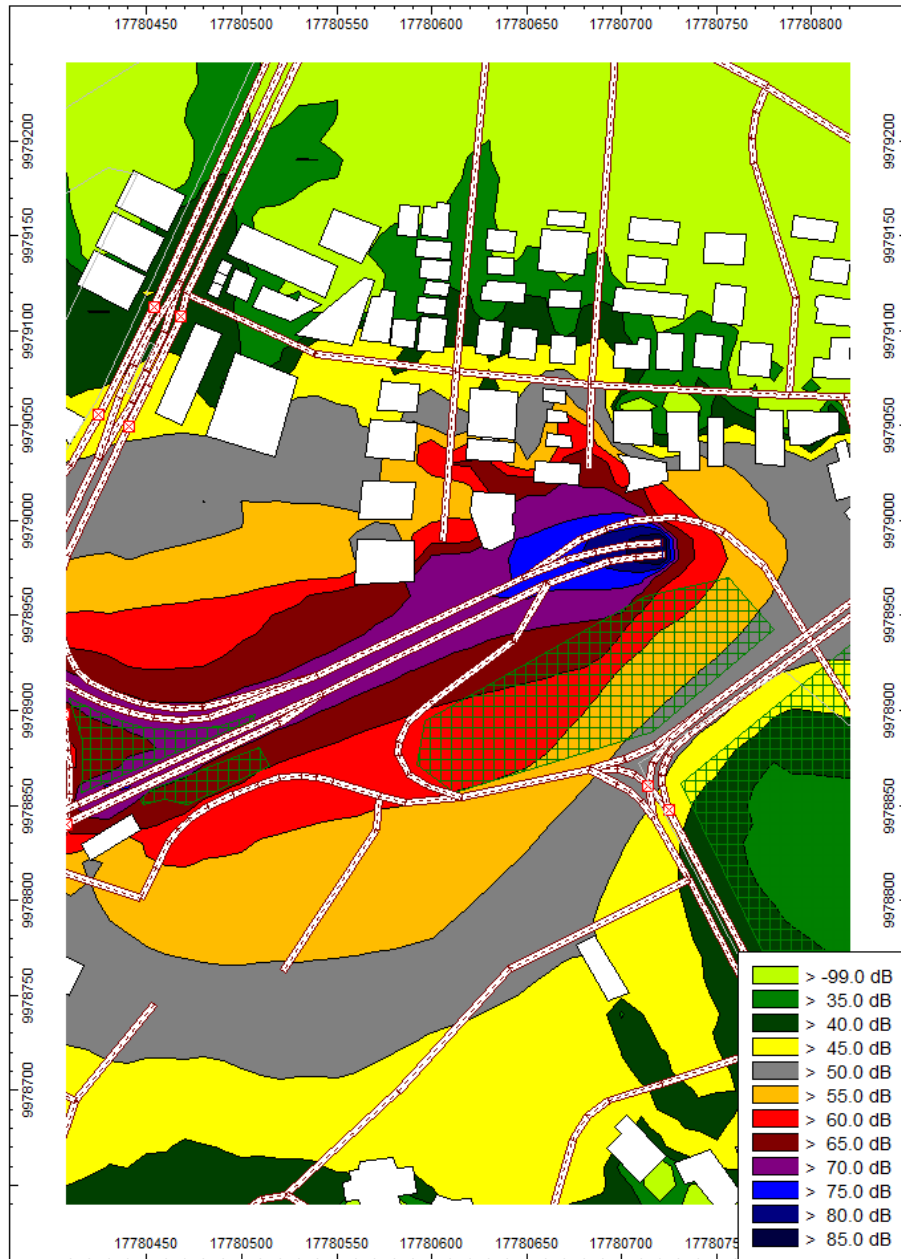


Figura 25. Mapa de ruido ambiental diurno, Túnel Guayasmín- Sector Bellavista.

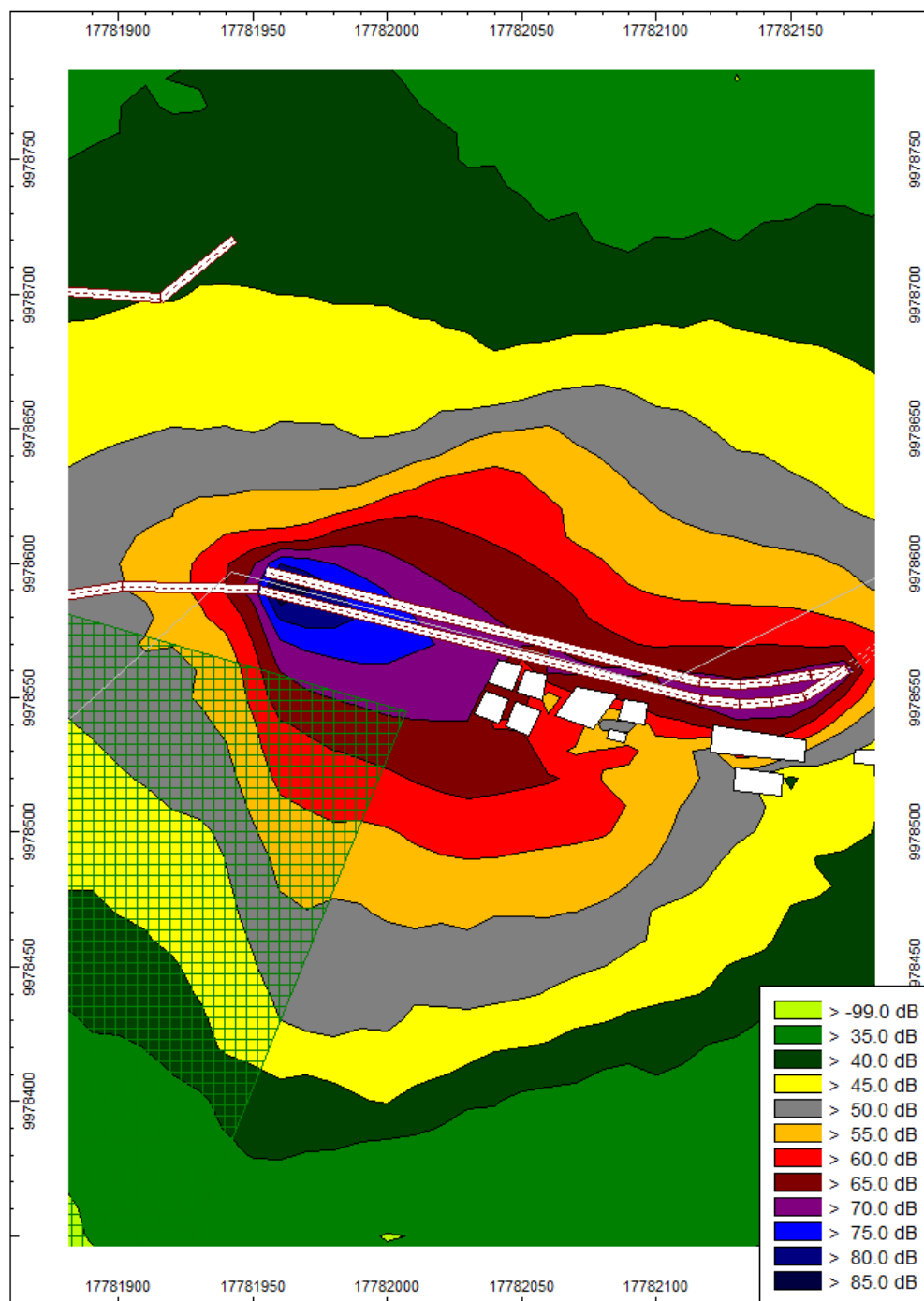


Figura 26. Mapa de ruido ambiental diurno, Túnel Guayasamín- Sector Bolaños.

- **Mapa de ruido nocturno**

En cuanto al período nocturno, el ruido disminuyó con respecto al ruido en el día. A pesar de esto, se visualizó que existen zonas con niveles nocturnos (L_n) que

alcanzan los 65 dBA, superando el valor recomendado por la normativa colombiana.

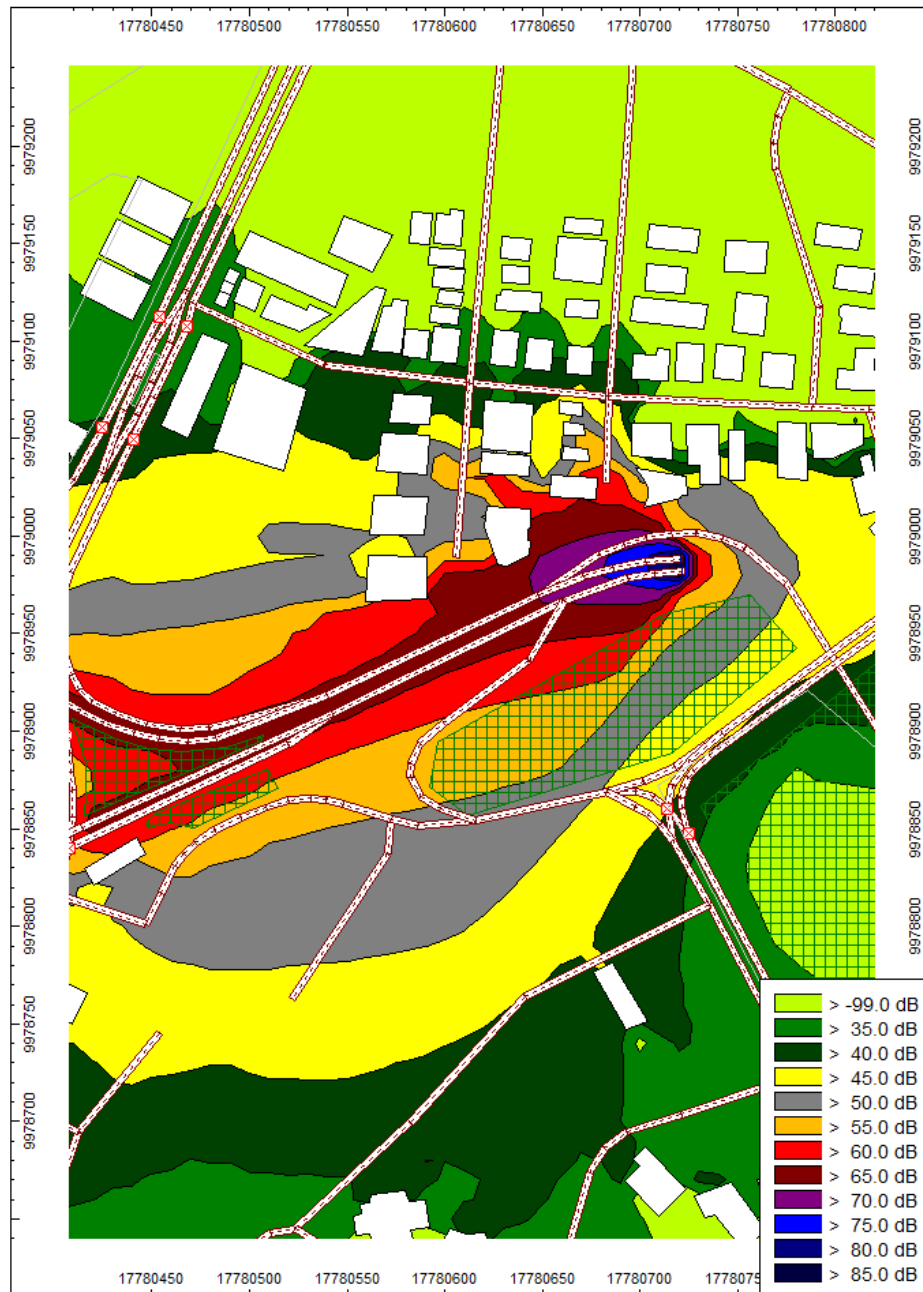


Figura 27. Mapa de ruido ambiental nocturno, Túnel Guayasamín- Sector Bellavista.

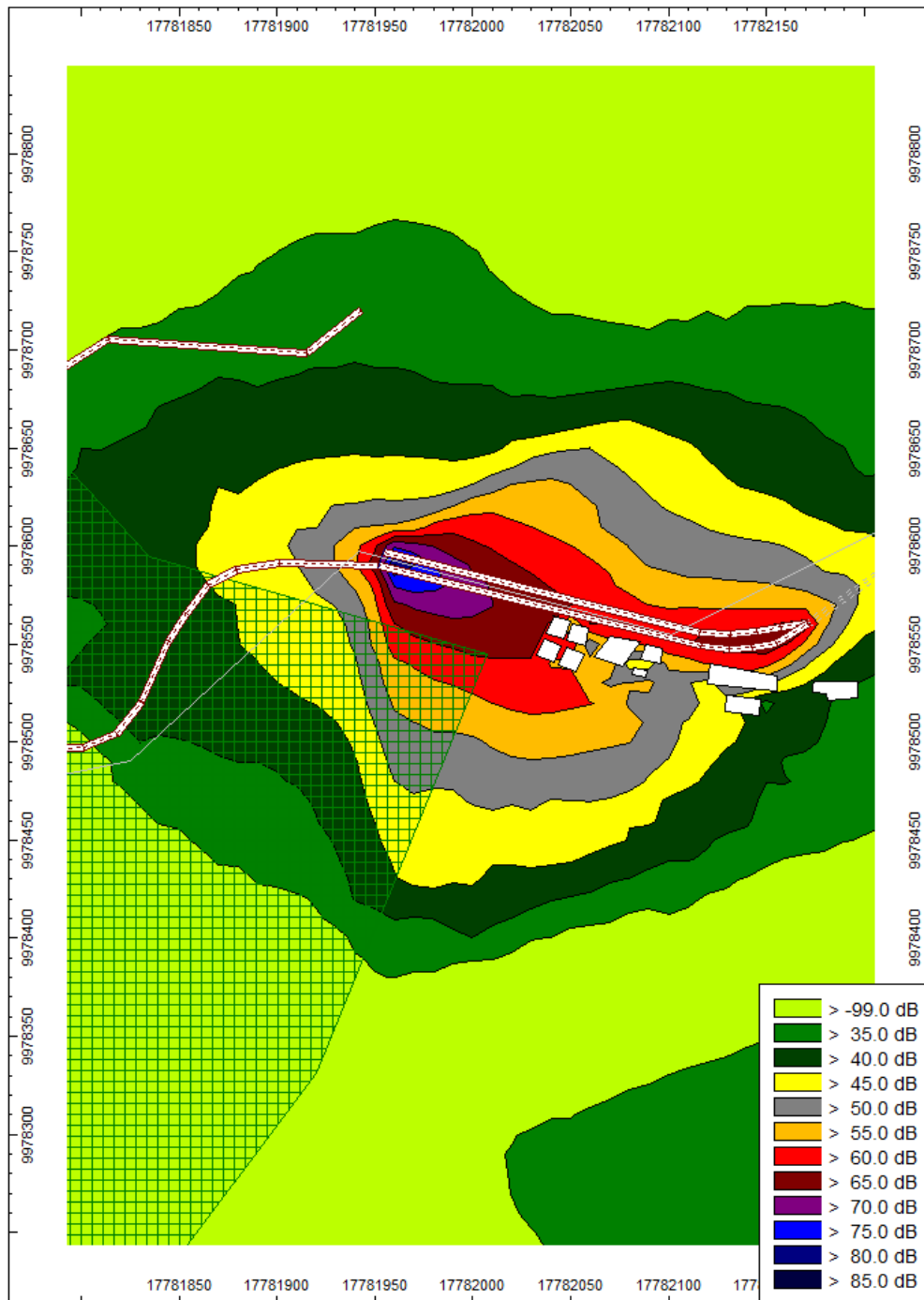


Figura 28. Mapa de ruido ambiental nocturno, Túnel Guayasamín- Sector Bolaños.

4.5. Evaluación del Impacto acústico según los objetivos de calidad acústica

Se conoció la situación actual de ruido ambiental en las zonas de influencia más cercanas a la boca del túnel. Seguido de esto, se identificó que existen superficies con niveles de ruido por encima de los valores recomendados por la normativa colombiana y se conocieron las viviendas más afectadas. Finalmente, se determinó la cantidad de moradores de Bellavista y Bolaños que están expuestos a niveles diurnos (Ld) sobre los 65 dBA y niveles nocturnos (Ln) sobre los 50 dBA, por influencia del túnel.

4.5.1. Evaluación del ruido ambiental en zonas cercanas al túnel Guayasamín (Modelo computacional)

Los niveles sonoros simulados, muestran un estimado de la situación actual de ruido ambiental en zonas residenciales aledañas al túnel Guayasamín. Por ello, se han evaluado los niveles diurnos (Ld) y nocturnos (Ln). A partir de estos resultados se evaluó el nivel de impacto acústico que pueden sufrir los habitantes afectados. A continuación se presentan los resultados más críticos.

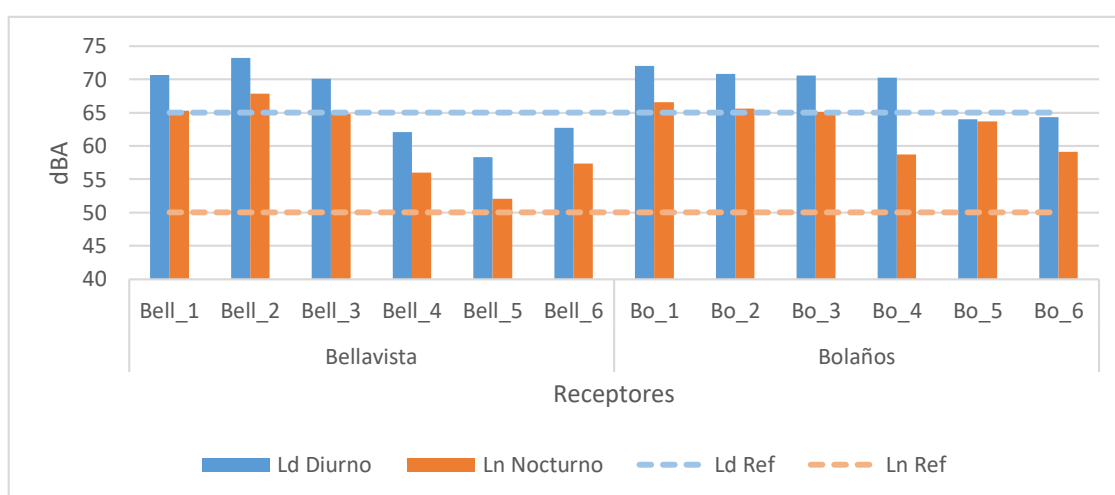


Figura 29. Ld y Ln en zonas residenciales aledañas al túnel Guayasamín.

En la figura 29, se observan puntos que superan los niveles diurnos recomendados por la Resolución 627 de 65 dBA. De acuerdo al modelo computacional, estos puntos están en las zonas más cercanas al túnel Guayasamín donde se identificaron residencias, ver en figura 30 y 31. Además, el volumen de tráfico vehicular en el día es mayor, ocasionando un incremento en los niveles diurnos de los sectores aledaños.

Por otro lado, los niveles nocturnos tienen una variación significativa respecto al período diurno. A pesar de esto, las zonas evaluadas en la simulación, no están dentro del valor recomendado de 50 dBA.

De acuerdo a estos resultados, se puede presumir que el ruido generado en el interior del túnel, tiene mayor influencia por las noches. Esto se debe al funcionamiento de los ventiladores que emiten ruido por un período de 3 horas, frente al ruido de tráfico que disminuye por la poca influencia de vehículos.

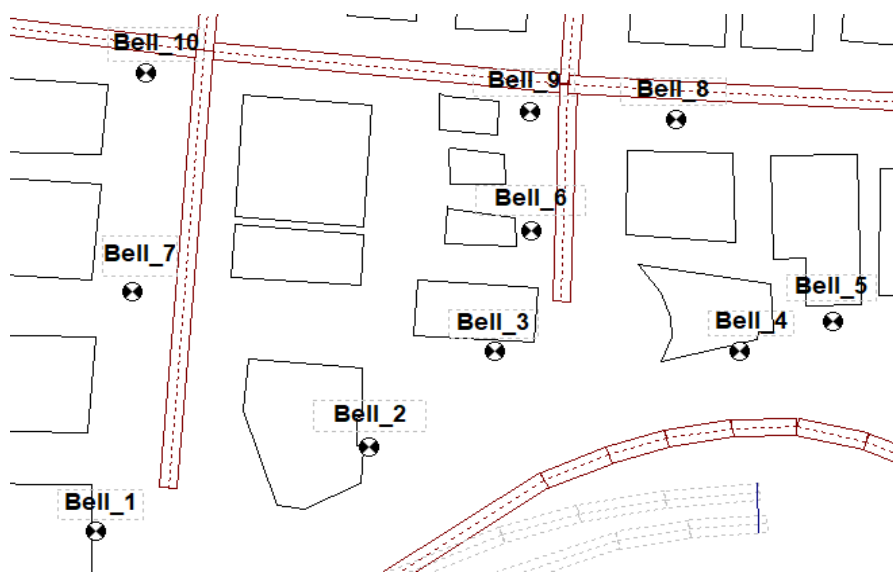


Figura 30. Receptores CadnaA-Bellavista.

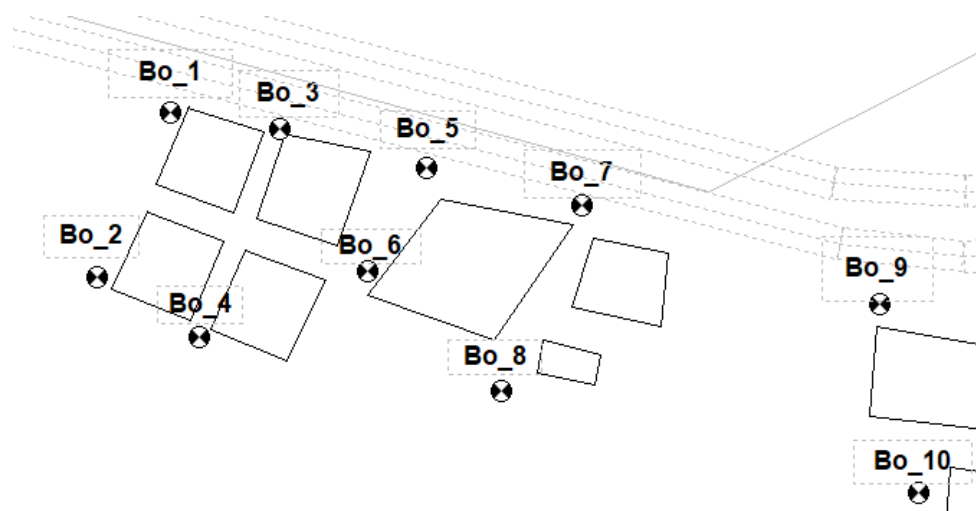


Figura 31. Receptores CadnaA-Bolaños.

4.5.2. Áreas de sensibilidad acústica identificadas cerca del túnel Guayasamín.

El sector más sensible frente al ruido del túnel es el residencial, por ello, se estimó que existen alrededor de 6 edificios afectados por el ruido del túnel en el sector de Bellavista. Para el sector de Bolaños todas las edificaciones se identificaron como viviendas.

- **Residencias afectadas por el ruido del túnel.**

Los edificios residenciales que se encuentran más expuestos al túnel en el sector de Bellavista son:

- Edificio Monte Alto
- Edificio Pegasus
- Edificio El Nogal
- Edificio Montreu
- Edificio Capricornio
- Edificio INGELSI S.A

- **Habitantes expuestos**

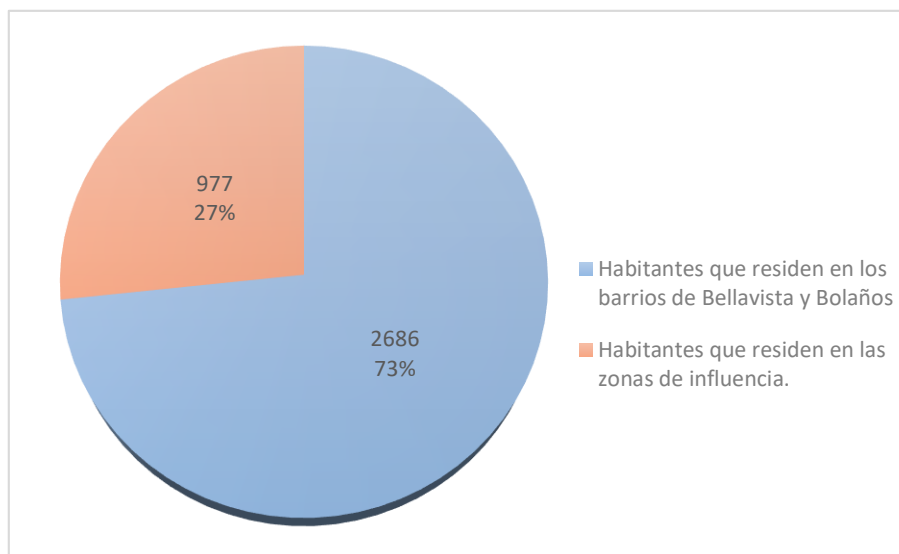


Figura 32. Porcentaje de habitantes que se residen en las zonas de influencia del túnel Guayasamín.

Se estima que del total de personas que viven en los barrios de Bellavista y Bolaños, el **27%** habitan dentro del área de influencia del túnel.

4.5.3. Niveles de ruido en zonas afectadas por el túnel Guayasamín- Período diurno

Para el período diurno, se comprobó que existen zonas residenciales afectadas por el ruido del túnel, con niveles diurnos hasta 10 dBA por encima del valor recomendado por la Resolución 627. En los siguientes apartados se presentan los niveles de ruido a los que están expuestas las zonas aledañas al túnel.

4.5.3.1. Niveles diurnos (Ld) mayores a 75 dBA

- **Superficies afectadas**

Dentro de la superficie con niveles superiores a 75 dBA **no** se identificaron zonas residenciales afectadas. Asimismo, se observa en la figura 33 que apenas el 6% de las superficies afectadas por el ruido del túnel, superan este rango de niveles diurnos.

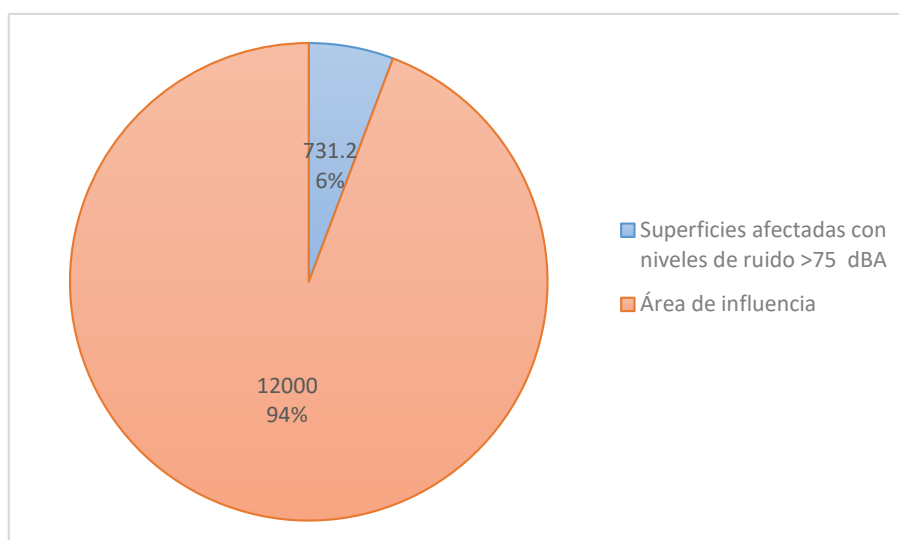


Figura 33. Superficies afectadas con niveles diurnos mayores a 75 dBA

4.5.3.2. Niveles diurnos (Ld) entre 70-75 dBA

- **Superficies afectadas**

Se determinó que el 15% de la superficie afectada por el ruido del túnel Guayasamín, está expuesta a niveles diurnos (Ld) que alcanzan los 75 dBA. Es evidente que en esta superficie, el ruido podría ser perjudicial para los habitantes que se encuentran dentro de esta zona.

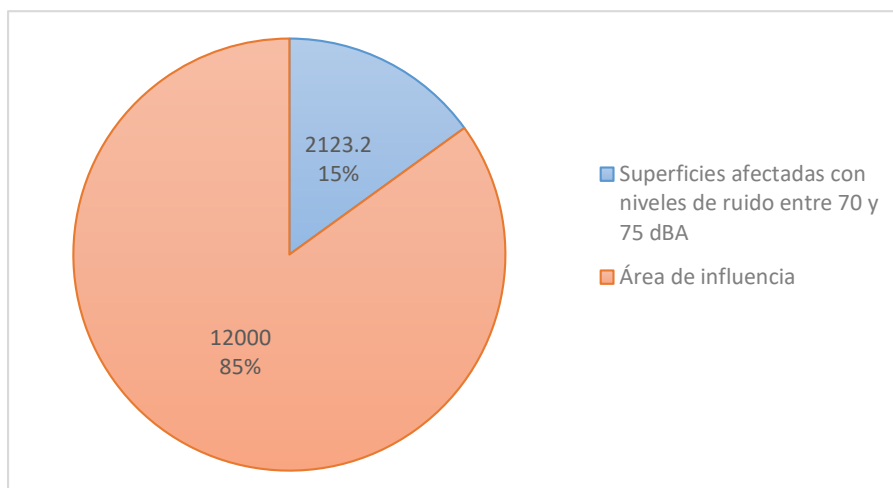


Figura 34. Superficies afectadas con niveles diurnos entre 70 - 75 dBA

- **Residencias afectadas**

Asimismo, en la tabla 11 se indican las residencias más afectadas por este rango de niveles de ruido. Se tiene el ejemplo del edificio **El Nogal** que alcanza los 74.7 dB por influencia del túnel. A continuación se realizó una representación gráfica de las residencias afectadas.

Tabla 11.

Residencias con niveles diurnos entre 70 - 75 dB.

Zona	Residencias	Nivel acústico en viviendas (Día)
Bellavista	Edificio El Nogal	74.7
	Edificio Capricornio	70.6
Bolaños	Vivienda_1	71.8



Figura 35. Zonas residenciales con niveles diurnos entre 70 - 75 dBA - Sector Bellavista.

Adaptado de (Google Maps, 2020).



Figura 36. Zonas residenciales con niveles diurnos entre 70 - 75 dBA - Sector Bolaños.

Adaptado de (Google Maps, 2020)

- **Habitantes afectados**

Por último, se determinó que el 15% de habitantes que residen en zonas afectadas por el ruido del túnel Guayasamín, están expuestos a niveles diurnos

(Ld) entre 70 y 75 dBA. Estos niveles se pueden considerar perjudiciales para el bienestar de los moradores.

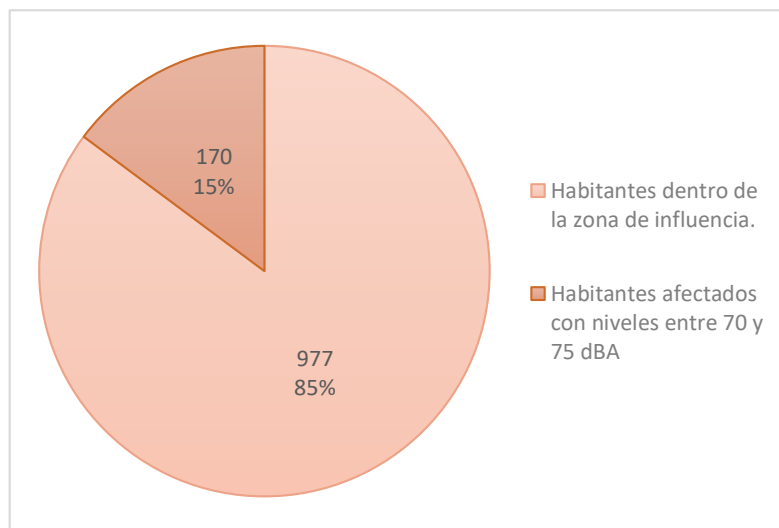


Figura 37. Porcentaje de habitantes afectados con niveles diurnos entre 70-75 dBA.

4.5.3.3. Niveles diurnos (Ld) entre 65-70 dBA

- **Superficies afectadas por influencia del túnel**

Los niveles diurnos dentro de esta superficie, se aproximan a los valores recomendados por la normativa colombiana. Por ello, se presume que las zonas residenciales que se encuentran dentro de estas superficies, no están siendo afectadas significativamente por el ruido del túnel.

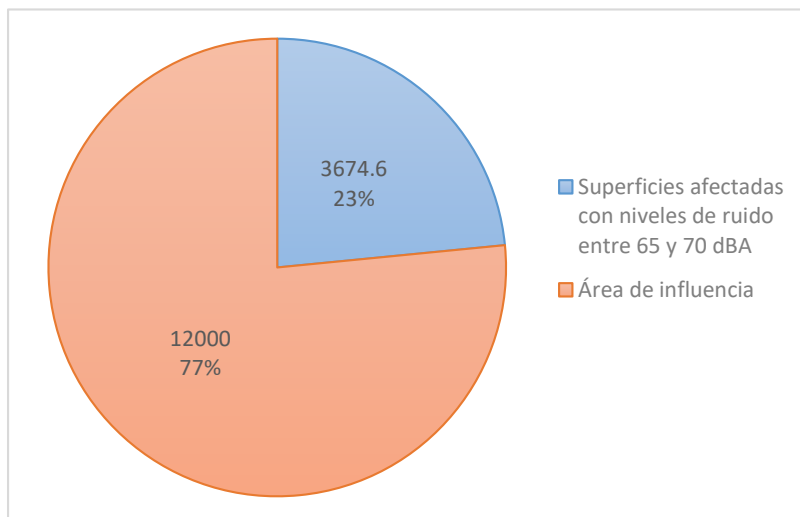


Figura 38. Superficies afectadas con niveles diurnos entre 65 - 70 dBA

- **Residencias afectadas**

Se identificó que existen residencias que reducen sus niveles diurnos hasta los 65 dB. Evidentemente los niveles se aproximan al valor recomendado de 65 dBA, esto quiere decir que las condiciones acústicas mejoran para los habitantes de estas residencias. En la figura 39 y 40 se puede visualizar las residencias que están dentro de estos niveles de ruido.

Tabla 12.

Residencias con niveles diurnos entre 65-70 dB.

Zona	Residencias	Nivel acústico en viviendas (Día)
Bellavista	Edificio Pegasus	65.9
	Edificio Monte alto	69.7
	Ingelsi S.A	65.6
Bolaños	Vivienda_4	69.7



Figura 39. Zonas residenciales con niveles diurnos entre 65 - 70 dBA - Sector Bellavista.

Adaptado de (Google Maps, 2020)



Figura 40. Zonas residenciales con niveles diurnos entre 65 - 70 dBA - Sector Bolaños.

Adaptado de (Google Maps, 2020).

- **Habitantes afectados**

Se estima que el 29% de la población que reside en las zonas afectadas por el ruido del túnel, están expuestas a niveles diurnos por debajo de los 70 dBA. A pesar de esto, para el día, el ruido en esta zona no representa un problema grave para los moradores.

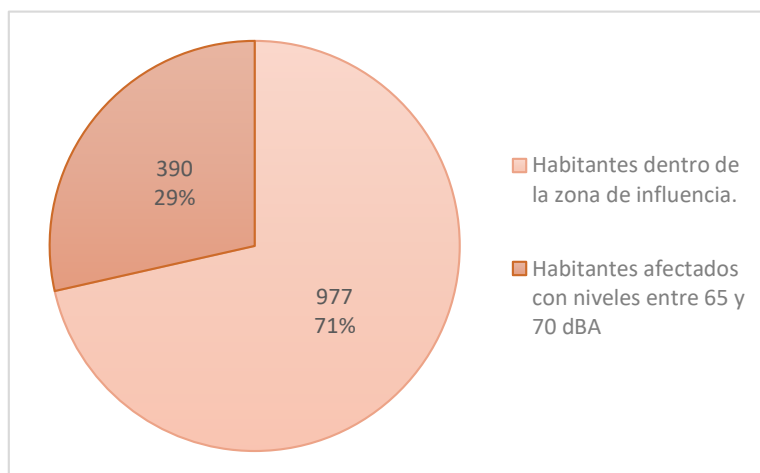


Figura 41. Porcentaje de habitantes afectados con niveles diurnos entre 65-70 dBA.

4.5.3.4. Total de habitantes afectados por el ruido del túnel Guayasamín- Período diurno

Se comprobó que existe una población expuesta a niveles diurnos sobre los 65 dBA. En ese sentido, el ruido del túnel Guayasamín está afectando al 44% de moradores que viven dentro del área de influencia, aproximadamente son 430 personas afectadas.

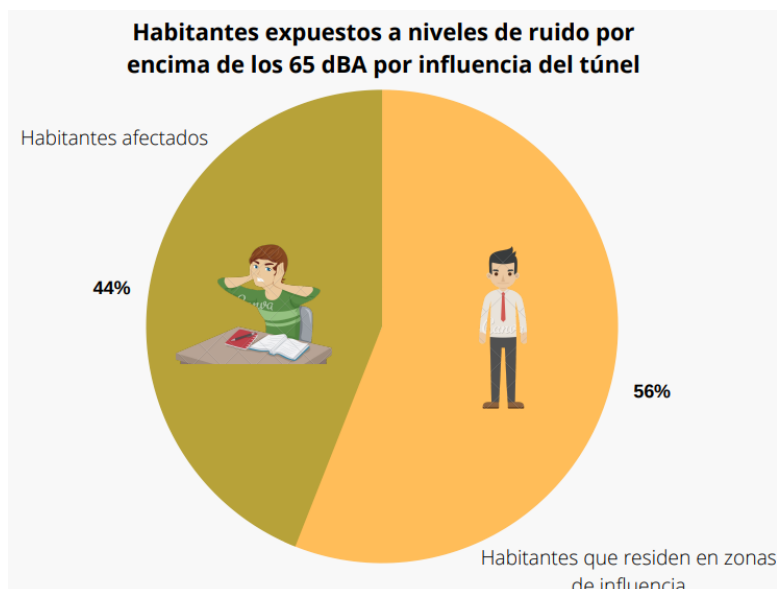


Figura 42. Promedio de habitantes afectados por el ruido del túnel Guayasamín para el período diurno.

4.5.4. Niveles de ruido en zonas afectadas por el túnel Guayasamín- Período nocturno

De acuerdo a los lineamientos de la normativa colombiana (Resolución 627), existen valores recomendados para niveles nocturnos (L_n) en sectores residenciales. Por ello, se comprobó que existen zonas con niveles nocturnos hasta 15 dBA por encima del valor recomendado.

4.5.4.1. Niveles nocturnos (L_n) entre 65 - 70 dBA

- **Superficies afectadas**

Se identificaron que existen superficies afectadas con niveles nocturnos (L_n) que alcanzan los 65 dBA. Se estima que apenas el 9% de las superficies afectadas por el ruido del túnel, se encuentran expuestas a estos niveles. A pesar de que es una superficie pequeña, en comparación a la superficie total afectada, los niveles nocturnos son críticos para las zonas residenciales que se encuentran en esta zona.

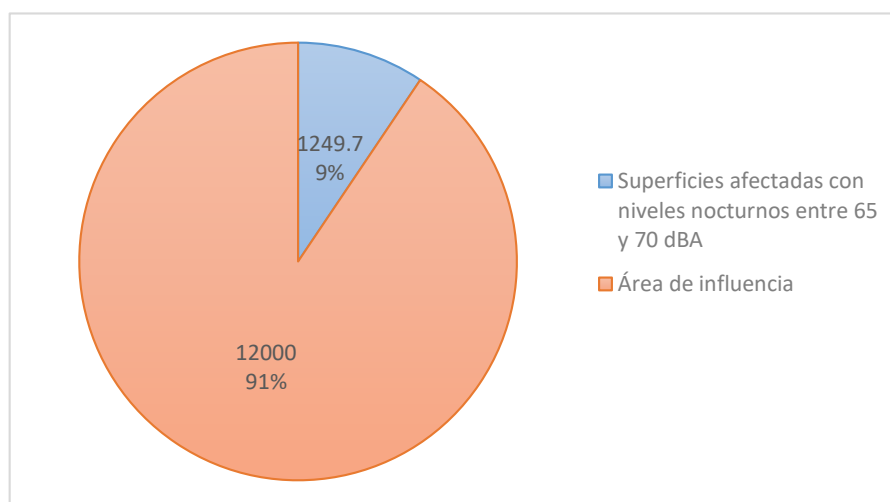


Figura 43. Superficies afectadas con niveles nocturnos entre 65 - 70 dBA.

- **Residencias afectadas**

Seguido de esto, se determinaron los niveles nocturnos en las residencias más afectadas por el ruido del túnel. Como se observa en la figura 44, se tiene el ejemplo del edificio el Nogal que alcanza un nivel de 69 dB por influencia del

túnel. Es por tanto, que los habitantes de este edificio pueden estar expuestos a niveles nocturnos que podrían ser molestos para su descanso.

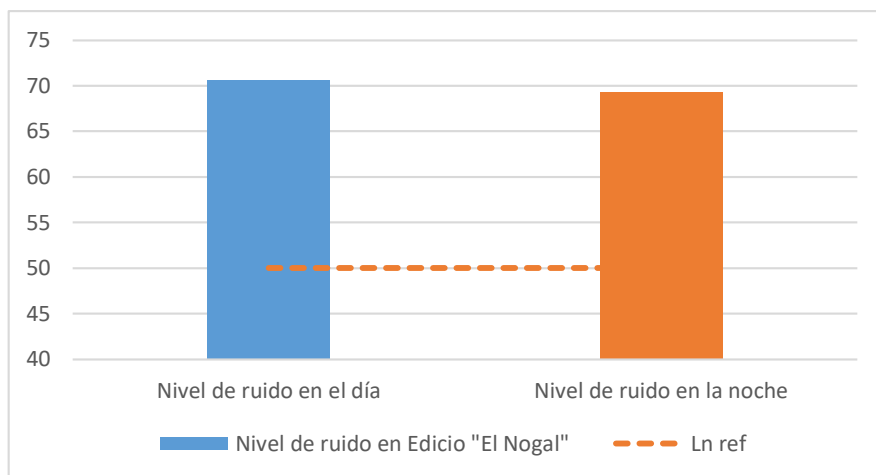


Figura 44. Residencias con niveles nocturnos entre 65-70 dB.

- **Habitantes afectados**

Asimismo, se estima que apenas el 9% de habitantes afectados por el ruido del túnel, están expuestos a niveles nocturnos (Ln) entre 65 y 70 dBA. Es evidente que la cantidad de moradores expuestos es baja, sin embargo, los niveles nocturnos en estas zonas residenciales superan en más de 15 dBA el valor recomendado.

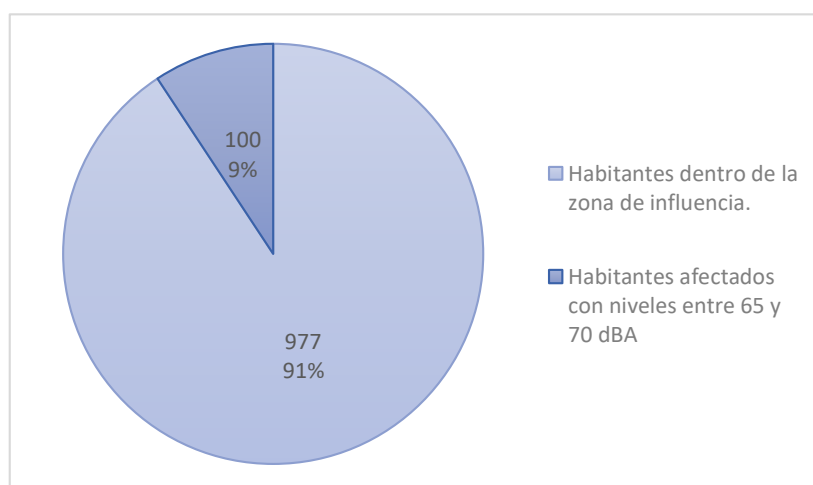


Figura 45. Porcentaje de habitantes afectados con niveles nocturnos entre 65-70 dBA.

4.5.4.2. Niveles nocturnos (Ln) entre 60 - 65 dBA

- **Superficies afectadas**

Es evidente que los niveles de ruido disminuyen, sin embargo, la superficie afectada aumenta. Se estima que el 22% de la superficie afectada por el ruido del túnel, está expuesta a niveles nocturnos entre los 60 y 65 dBA.

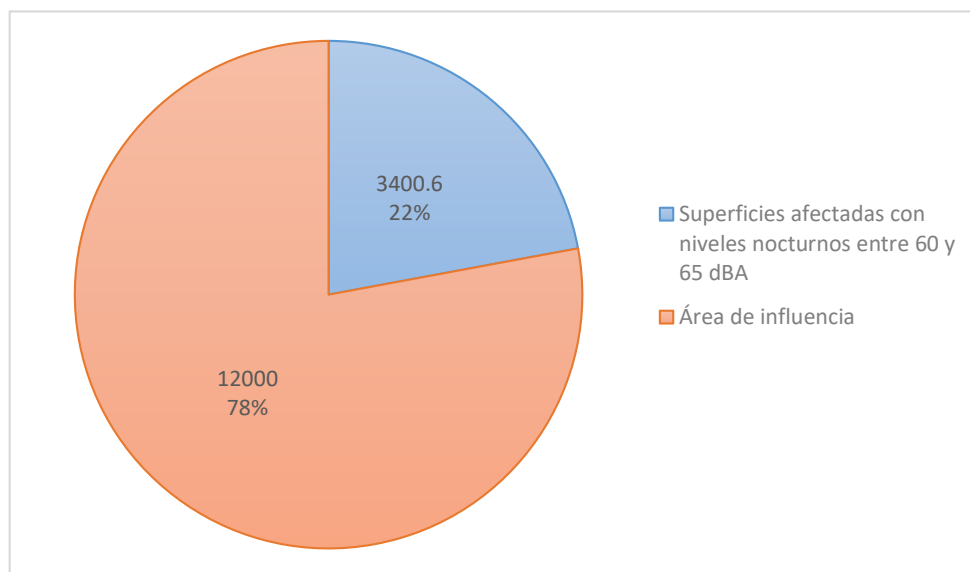


Figura 46. Superficies afectas con niveles nocturnos entre 60 - 65 dBA.

- **Residencias afectadas**

La influencia del túnel hace que las residencias sigan expuestas a niveles nocturnos por encima de los valores recomendados. Se tiene el ejemplo del edificio **Ingelsi S.A** que por la noche alcanza los 60 dB.

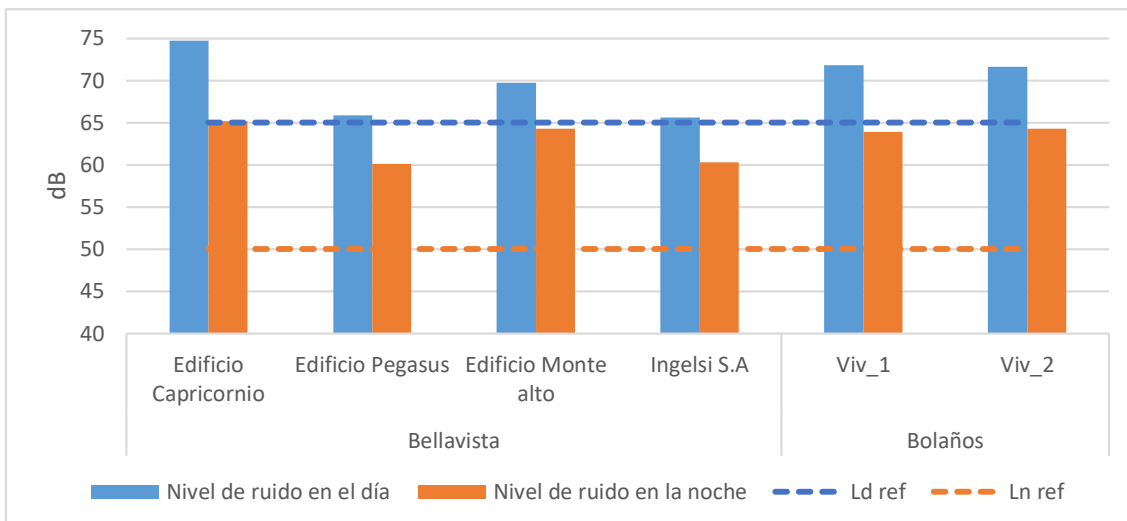


Figura 47. Residencias afectadas por niveles nocturnos entre 60 y 65 dB.

- **Habitantes afectados**

Por otro lado, se determinó que en la noche, el ruido del túnel afecta al 21% de moradores de las zonas más influyentes, con niveles nocturnos entre 60 y 65 dBA.

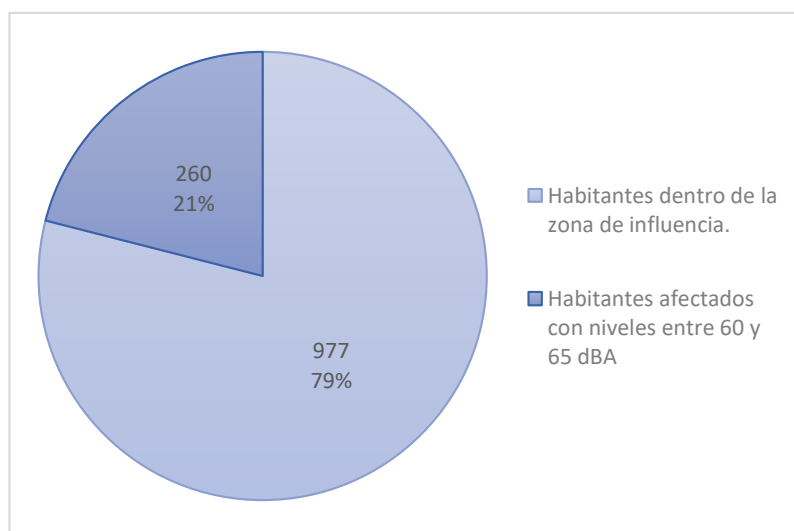


Figura 48. Porcentaje de habitantes afectados con niveles nocturnos entre 60-65 dBA.

4.5.4.3. Niveles nocturnos (Ln) entre 55 - 60 dBA

- **Superficie afectada**

Dentro del límite de la superficie con estos niveles de ruido, se identificaron mayormente casas comunes. Se estima que el 24% de la superficie afectada por el ruido del túnel, está expuesta a este rango de niveles nocturnos.

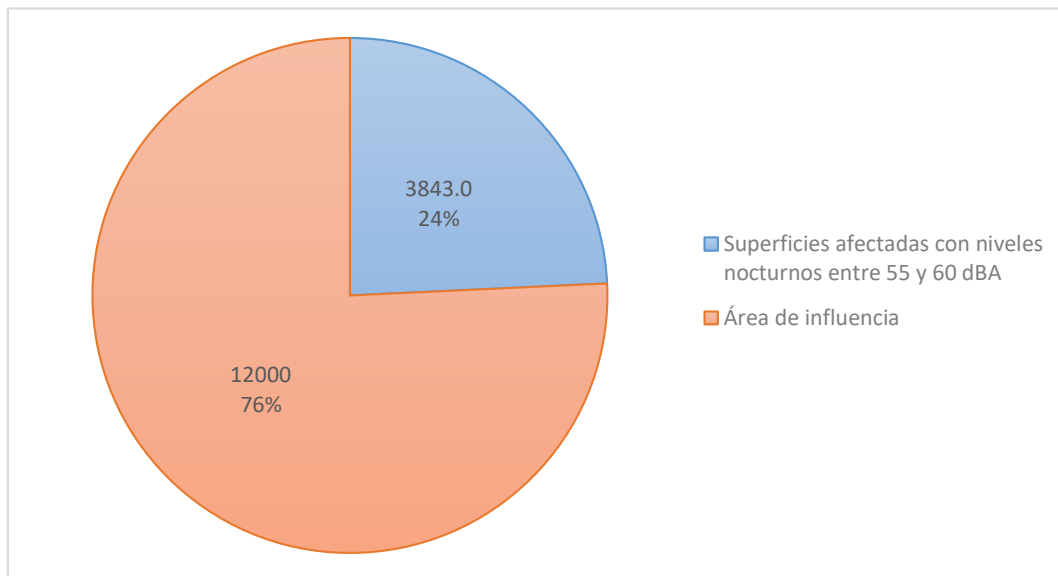


Figura 49. Superficies afectadas con niveles nocturnos entre 55 - 60 dBA.

- **Residencias**

Con respecto a las viviendas que están dentro de estos niveles de ruido, se tiene el ejemplo de una vivienda que en el día alcanza los 70 dB y en la noche sus niveles se reducen a 58 dB. En este caso los niveles de ruido se aproximan a los valores recomendados, por ende se puede presumir que en la noche a partir de estas zonas, la influencia del túnel comienza a ser despreciable.

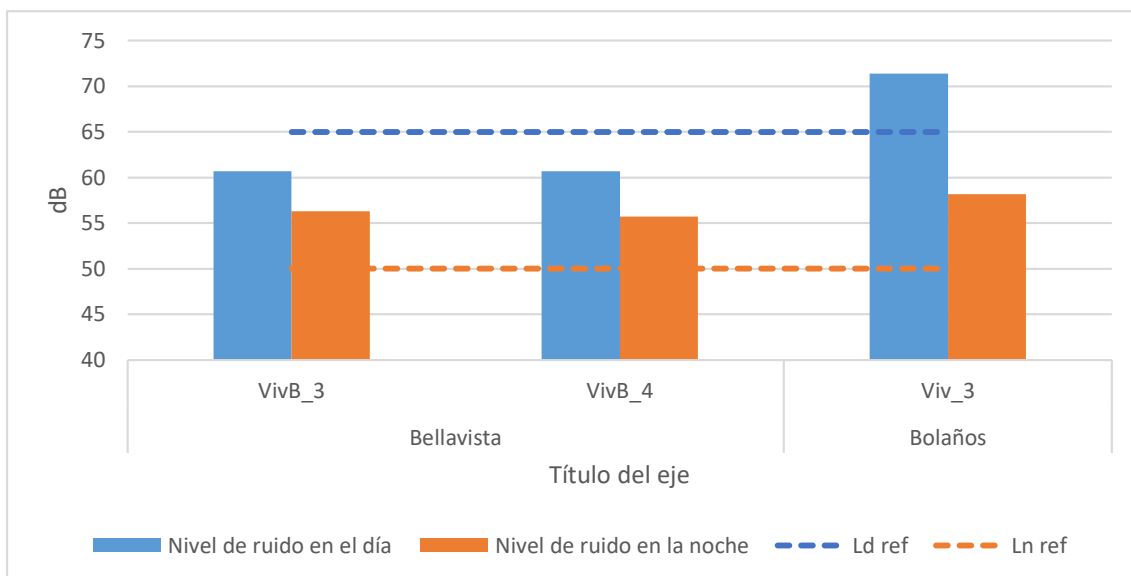


Figura 50. Residencias afectadas con niveles nocturnos entre 55 - 60 dB.

- **Habitantes afectados**

Evidentemente el 24% de habitantes afectados por el ruido del túnel, que se estima viven en estas zonas residenciales, estarían expuestas a niveles nocturnos (Ln) por debajo de los 60 dBA.

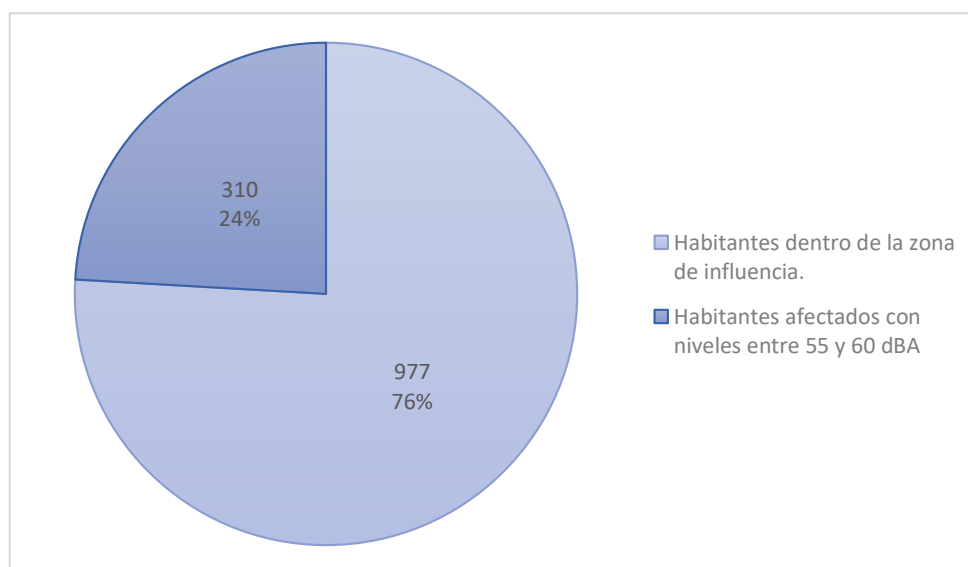


Figura 51. Porcentaje de habitantes afectados con niveles nocturnos entre 55-60 dBA.

4.5.4.4. Niveles nocturnos (Ln) entre 50 - 55 dBA

- **Superficie afectada**

El 26% de la superficie afectada está en un rango de niveles nocturnos por debajo de los 55 dBA. Se puede decir que esta zona no sufre mayor afectación por el ruido del túnel, sobre todo en la noche que es donde existe mayor restricción para ruido ambiental.

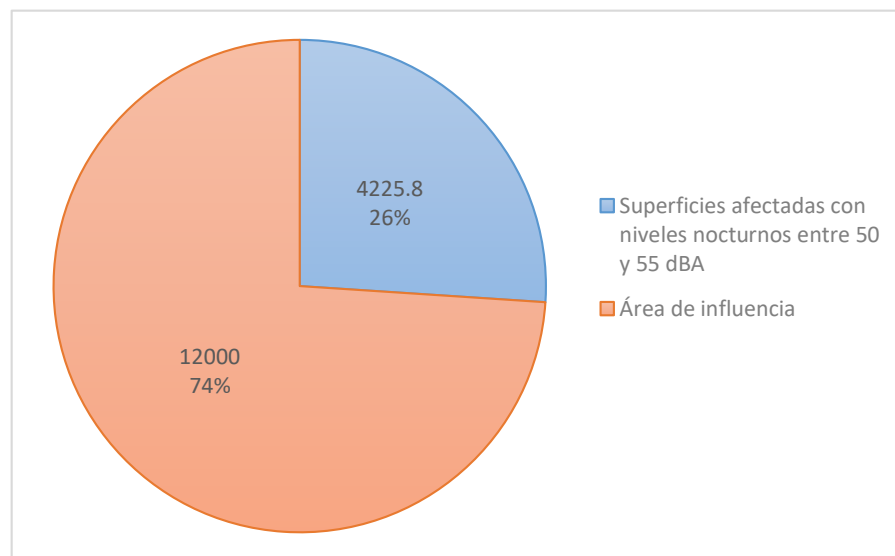


Figura 52. Superficies afectadas con niveles nocturnos entre 50 - 55 dBA.

- **Residencias**

Se determinó que en estas residencias los niveles nocturnos alcanzan los 50 dB, lo que significa, que la influencia del túnel en estos sectores es despreciable. A pesar de esto, se debe considerar que existen otras fuentes de ruido que puedan estar influyendo en estas residencias.

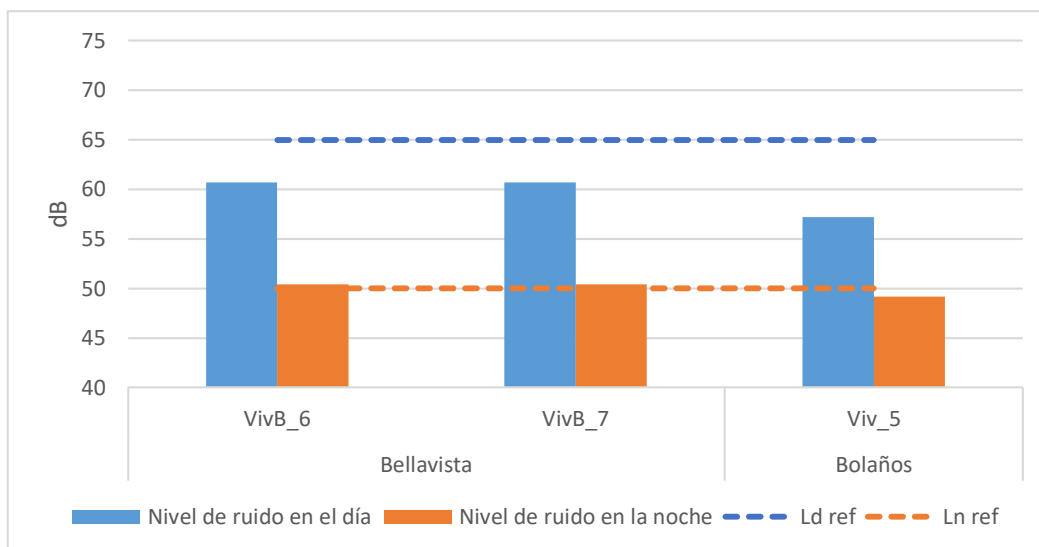


Figura 53. Residencias afectadas con niveles nocturnos entre 50 y 55 dB

- **Habitantes afectados**

Un total de **380 habitantes** están expuestos a estos niveles de ruido, en promedio el 28% de habitantes afectados por el ruido del túnel. Evidentemente el número promedio de habitantes incrementa, sin embargo, los niveles a los que están expuestos no representan mayor afectación. Si se puede relacionar a estos niveles de ruido con alguna actividad, sería con el de mantener una conversación normal.

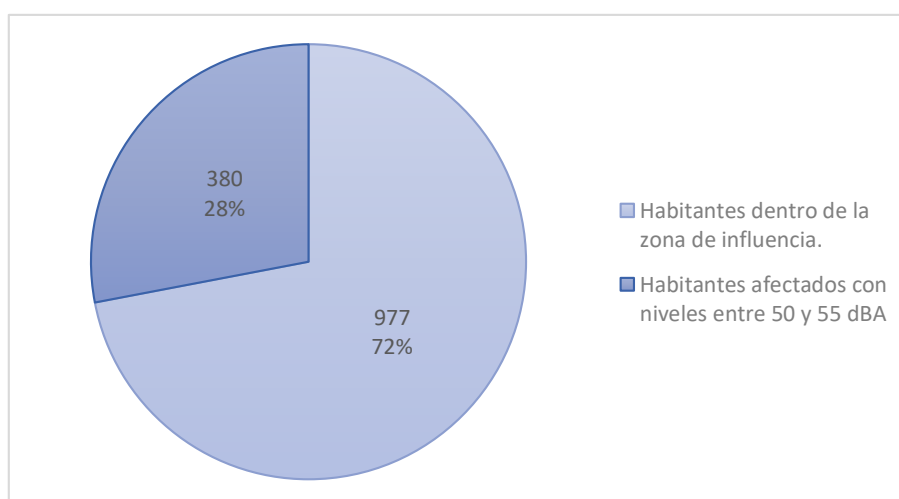


Figura 54. Porcentaje de habitantes afectados con niveles entre 50-55 dBA

4.5.4.5. Total de habitantes afectados por el ruido del túnel Guayasamín- Período nocturno

Para el periodo nocturno se comprobó que incrementa el número de habitantes afectados. Por ello, se determinó que el ruido del túnel está afectando al 82 % de los habitantes que residen dentro del área de influencia, con niveles nocturnos (Ln) por encima de los 50 dBA, en promedio 850 personas afectadas.

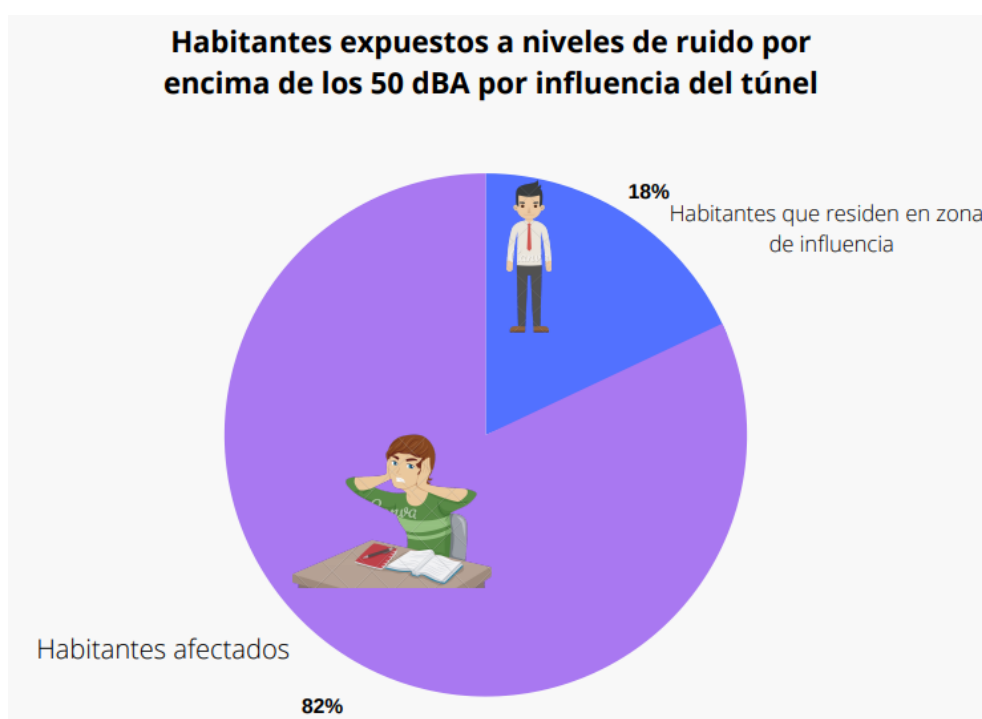


Figura 55. Porcentaje de habitantes afectados por el ruido del túnel Guayasamín para el período nocturno.

4.6. Impacto acústico sin influencia del túnel Guayasamín

De acuerdo al análisis de impacto acústico del apartado anterior, se presume que el ruido generado por el túnel Guayasamín está afectando a los sectores aledaños. En base a estos resultados, se planteó un escenario hipotético donde no exista esta infraestructura, sino únicamente la vía. Por medio de este análisis se comprobó si el ruido de tráfico en la vía Interoceánica genera un impacto en igual, mayor o menor magnitud que el túnel

- **Impacto acústico diario.**

Se comprobó que para el día los niveles diarios (Ld) en las zonas residenciales varían aproximadamente 6 dBA con respecto al escenario actual. Es evidente que en dichas zonas, se mejoraría la calidad acústica del ambiente. En la figura 56 se muestra que el nivel diario sin existencia del túnel estaría dentro del límite recomendado.

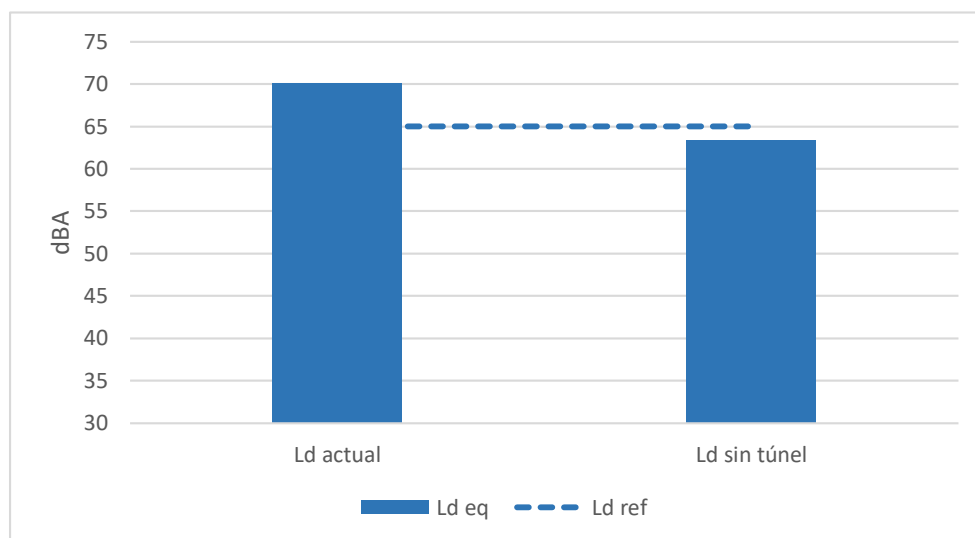


Figura 56. Diferencia de niveles diarios entre escenarios.

- **Habitantes afectados**

Para el escenario sin túnel, el número de habitantes se realizó en las mismas residencias afectadas del escenario actual. En ese sentido, se obtuvo el número promedio de habitantes que serían afectados por el ruido de tráfico. Evidentemente el número de habitantes afectados disminuiría. Como se observa en la figura 57, serían **220 habitantes** que estarían afectados con niveles diarios por encima de los 65 dBA. Asimismo, se determinó que 210 habitantes que en la actualidad están siendo afectados por el ruido del túnel, dejarían de estar expuestos a niveles diarios por encima de los 65 dBA.

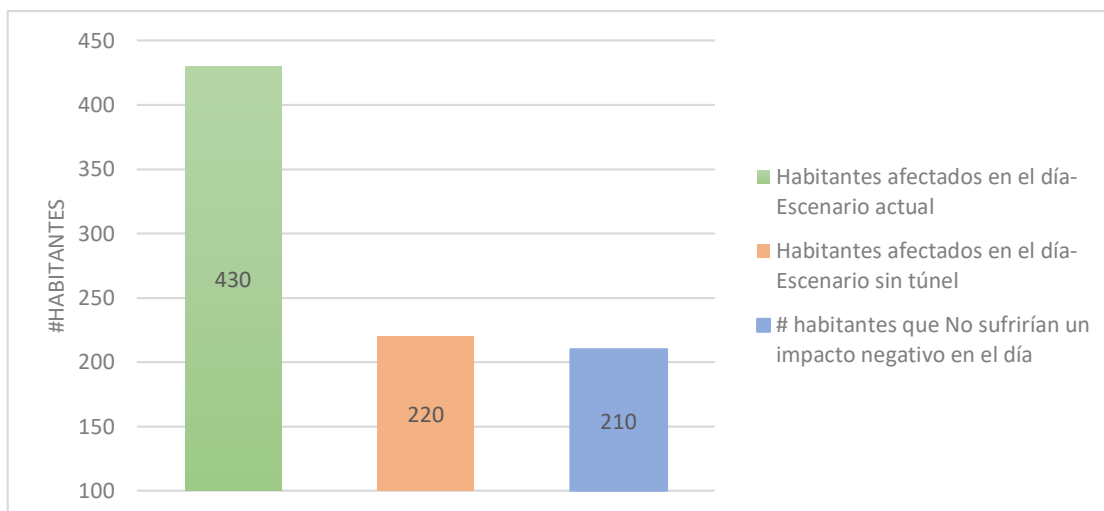


Figura 57. Comparación de habitantes afectados en el período diurno.

- **Impacto acústico nocturno**

El análisis de impacto nocturno para el escenario sin túnel reflejó una mejor situación de ruido para las residencias cercanas y sus habitantes. En la figura 58 se observa la variación del nivel nocturno con respecto al escenario actual.

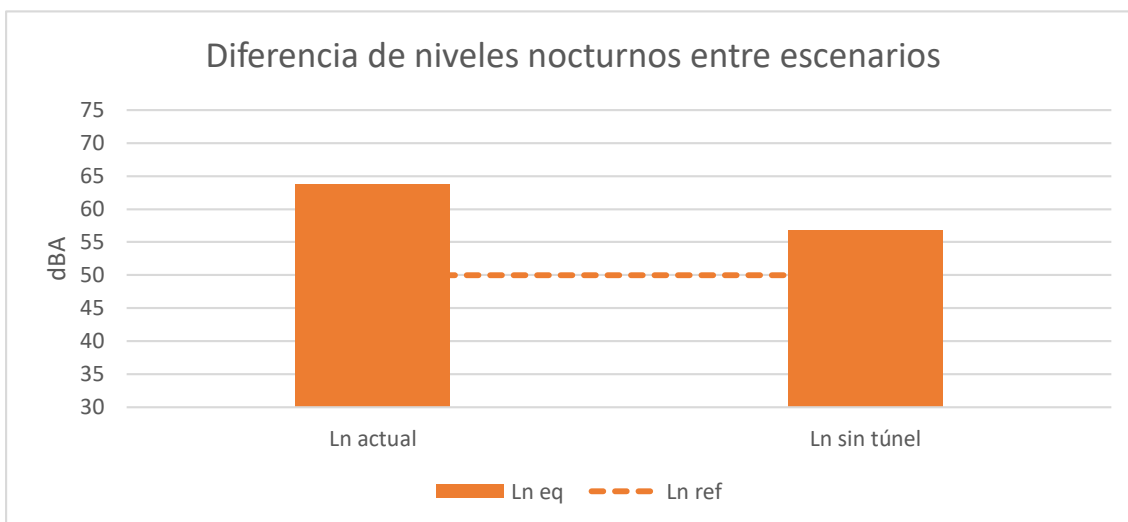


Figura 58. Nivel equivalente nocturno sin existencia del túnel.

Evidentemente el nivel de ruido nocturno es bajo con respecto al escenario actual. En promedio, el nivel nocturno (Ln) es de 57 dBA, aproximándose al valor recomendado por la resolución 627 de Colombia. Notablemente las condiciones

acústicas para la noche mejorarían, en el caso que el túnel Guayasamín no existiera.

- **Habitantes afectados**

En el escenario actual quedó demostrado que por la noche, son alrededor de **850 personas** que están siendo afectadas por el ruido del túnel, con niveles nocturnos que alcanzan los 65 dBA, superando el valor recomendado por la normativa Colombiana de 50 dBA. En ese sentido para el escenario hipotético se obtuvo el número promedio de habitantes que podrían verse afectados por niveles nocturnos que superan los 50 dBA, en la siguiente imagen se presentan los resultados obtenidos.

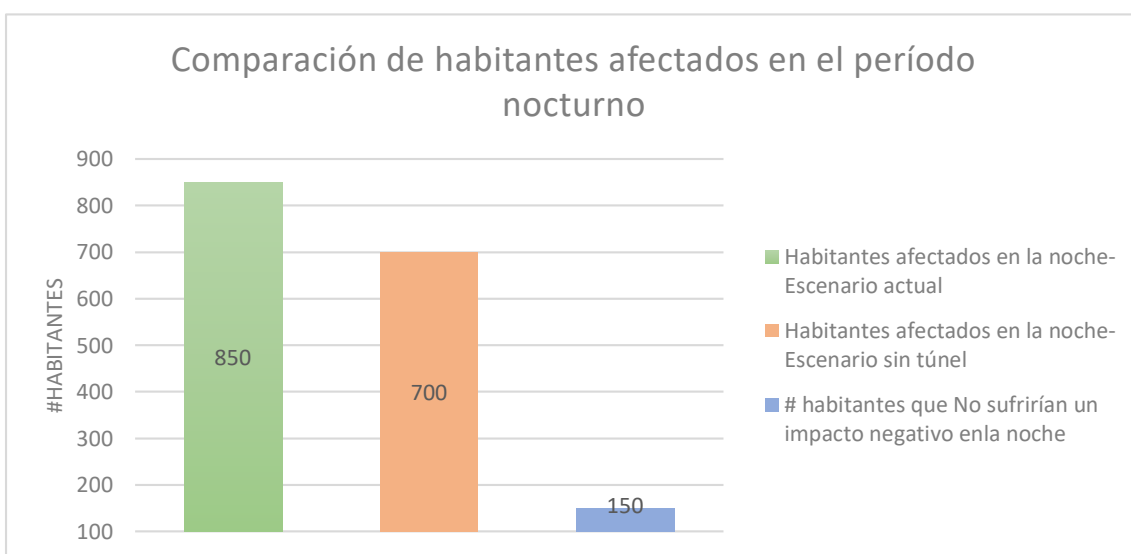


Figura 59. Número de habitantes afectados para el período nocturno.

Se podría decir que en el escenario sin túnel serían **700 habitantes** que estarían expuestos a niveles nocturnos por encima de los 50 dBA. Existe una diferencia con respecto al escenario actual, sin embargo, los habitantes afectados seguirían siendo mayormente en la noche. Además, se determinó que apenas **150 habitantes** que en la actualidad están siendo afectados por el ruido del túnel en

la noche, dejarían de estar expuestos a niveles nocturnos por encima de los 50 dBA que recomienda la normativa colombiana.

4.7. Encuestas socio acústicas

Se encuestaron a 83 habitantes de las residencias más afectadas, que respondieron a la encuesta de manera presencial y vía internet. En los siguientes apartados se presentan los resultados.

4.7.1. Información General

- **Sector**

En la primera parte de la encuesta se obtuvieron resultados de la información general de los encuestados. En la figura 55 se presenta el porcentaje de habitantes que respondieron a la encuesta por cada sector.

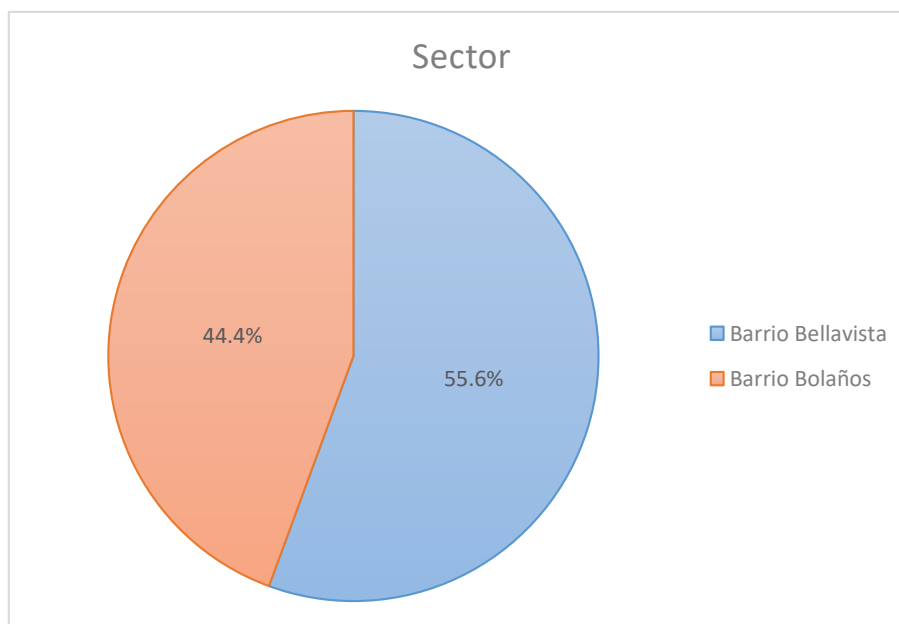


Figura 60. Porcentaje de encuestados por cada sector.

- **Edad**

La mayoría de encuestados fueron personas en un rango de edad de 29 a 40 años. Le siguieron personas en un rango de edad de 18 a 28 años.

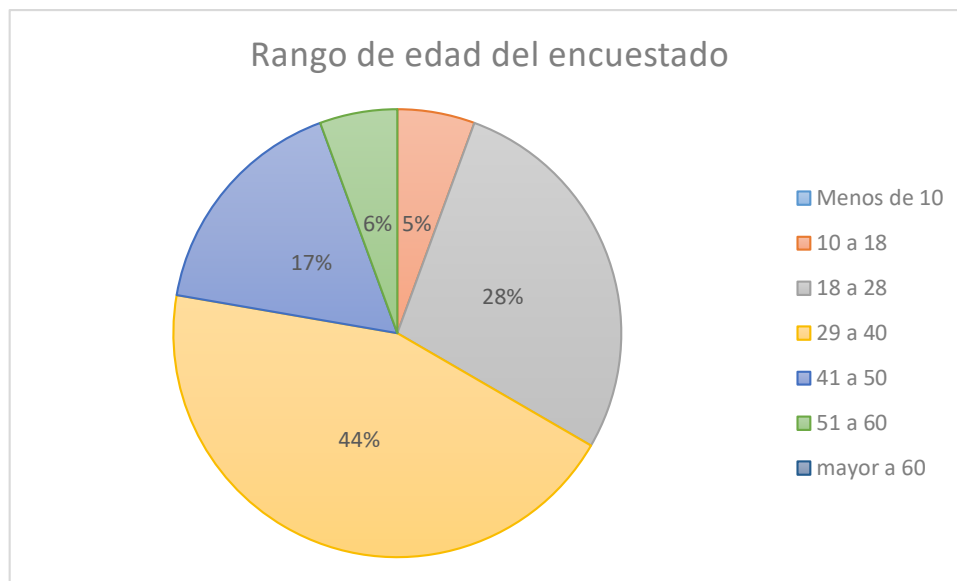


Figura 61. Rango de edad de los encuestados.

4.7.2. Problemas ambientales que identifica el encuestado.

- **Problemática del ruido en los sectores encuestados**

Para la segunda parte, la encuesta estaba enfocada en preguntas sobre problemas ambientales que identifica el encuestado en su sector. En las siguientes imágenes se indican los diferentes elementos que se consideraron para las preguntas.

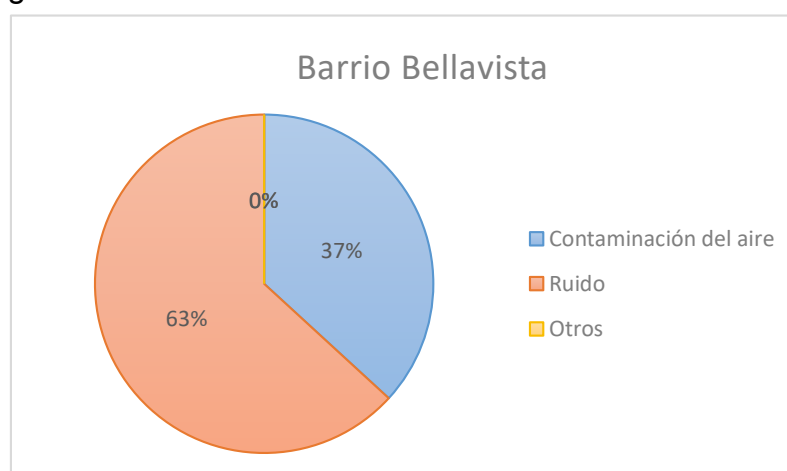


Figura 62. Problemas ambientales que identifica el encuestado en su domicilio-Bellavista.

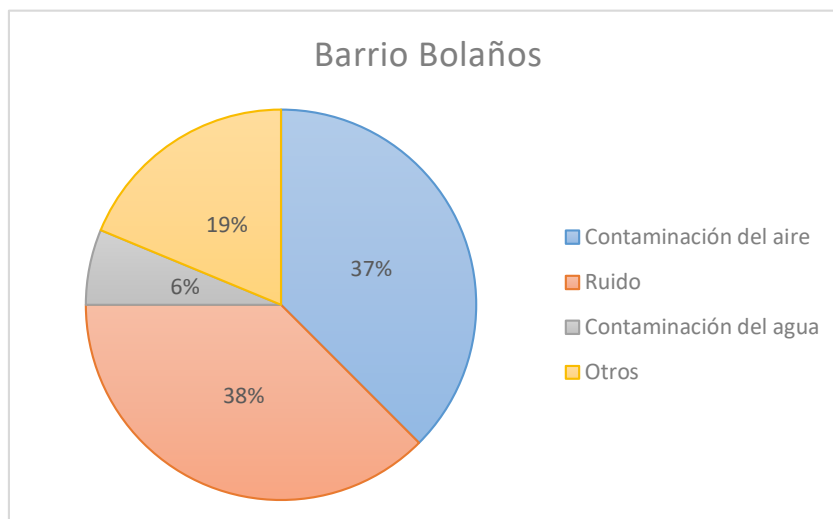


Figura 63. Problemas ambientales que identifica el encuestado en su domicilio- Bolaños.

Como se observa en la figura 62 y 63 los encuestados de Bellavista señalaron que el **ruido** es el problema principal de contaminación en su sector. Asimismo, los encuestados de Bolaños indicaron que el **ruido** y la contaminación del aire son los problemas ambientales que existen en sus residencias.

- **Importancia del ruido en la vida del encuestado**

Seguido de esto, el encuestado dio su percepción acerca de la importancia de los efectos del ruido en su vida cotidiana.

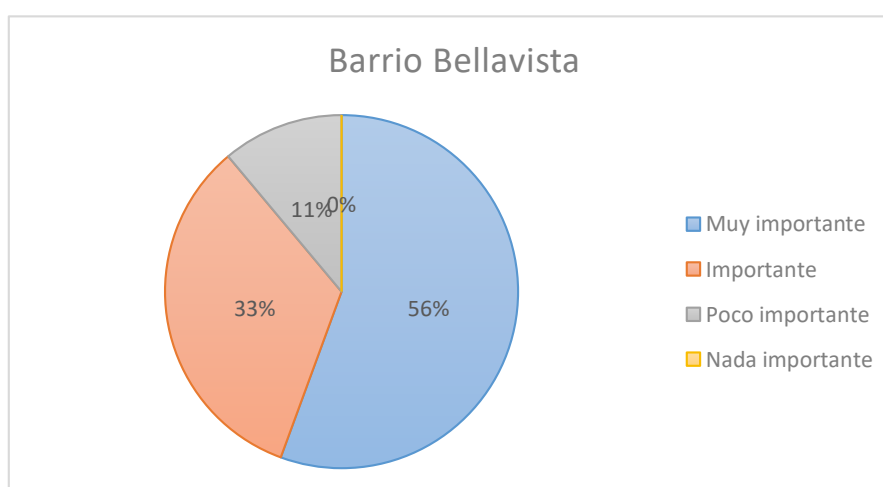


Figura 64. Importancia que da el encuestado al ruido en su vida- Bellavista.

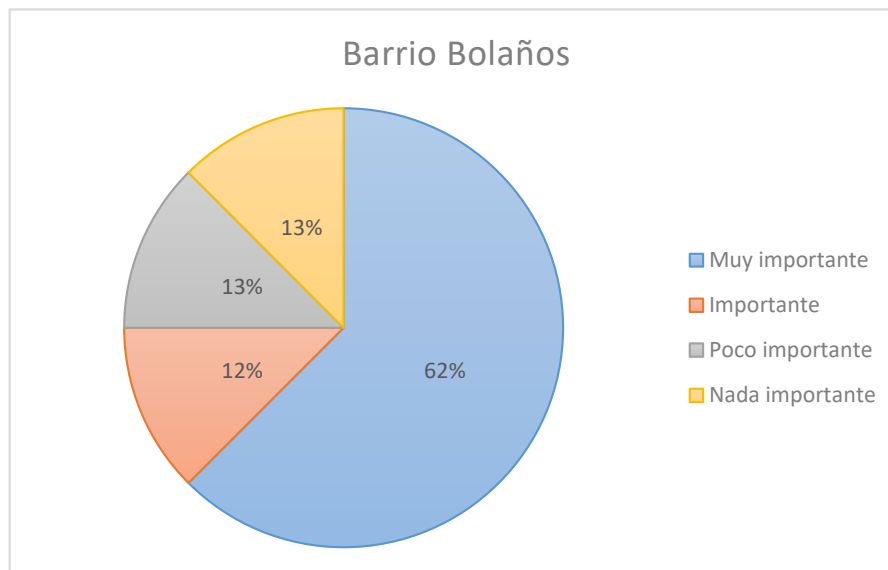


Figura 65. Importancia que da el encuestado al ruido en su vida- Bolaños.

Notablemente el mayor porcentaje de encuestados dio una calificación de “Muy importante”, por ende, se presume que los moradores tienen conocimiento sobre los efectos negativos que puede causar el ruido en su salud.

- **Emisores de ruido que causan molestia en los habitantes de Bellavista y Bolaños**

Después de conocer la percepción que tienen los moradores sobre el ruido, se identificaron las fuentes que pueden estar causando molestia y generando un impacto ambiental negativo.

Se realizaron preguntas sobre el grado de molestia que sienten los encuestados por diferentes emisores de ruido en su domicilio. Se consideró que 1 es nada molesto y 5 extremadamente molesto.

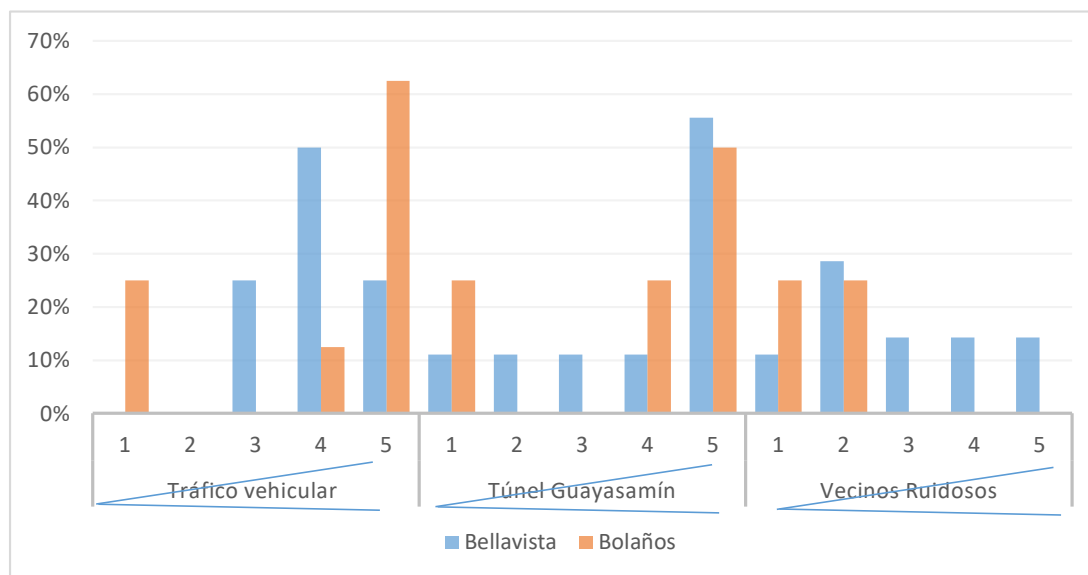


Figura 66. Molestia que siente el encuestado por diferentes emisores de ruido en su domicilio.

Respecto a los resultados de la figura 66 se observa que los habitantes sienten molestia por el ruido del **túnel Guayasamín** y el ruido de tráfico. En el caso de los moradores de Bellavista, indicaron sentir mayor molestia por el ruido del túnel, a diferencia de Bolaños, donde los habitantes señalaron que el tráfico y el túnel generan molestia en igual magnitud. En ambos casos el grado de molestia es considerablemente alto, a causa del ruido generado por el túnel y la vía.

- **Horario de molestia**

Seguido de esto, el encuestado indicó el horario donde siente mayor molestia por el ruido del túnel Guayasamín.

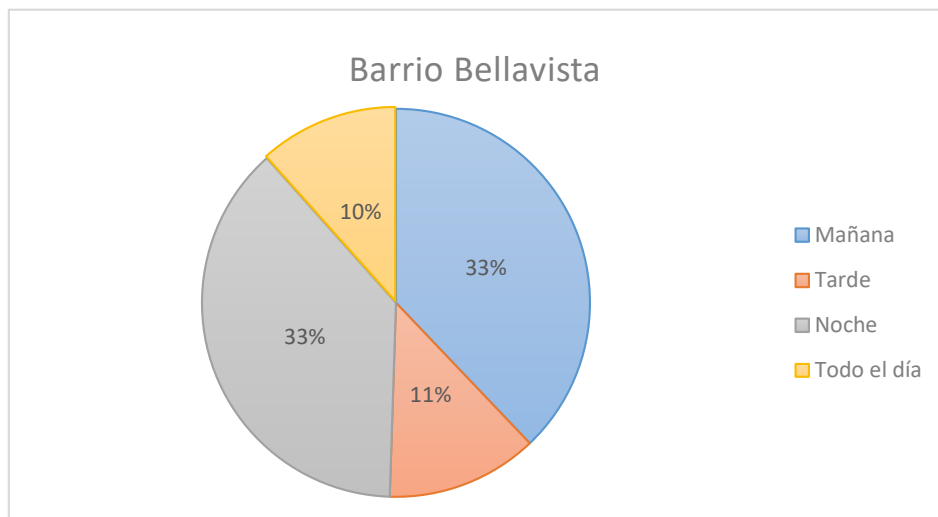


Figura 67. Horario de molestia que siente el encuestado- Bellavista.

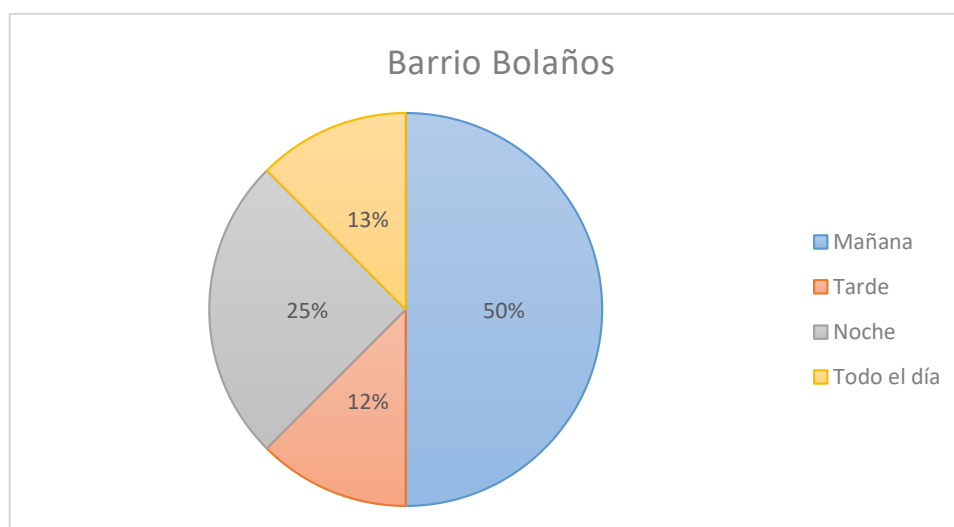


Figura 68. Horario de molestia que siente el encuestado- Bolaños.

De acuerdo a la figura 67 y 68 los habitantes de Bolaños sienten mayor molestia en la mañana, mientras que en Bellavista, indicaron que la molestia es igual en la mañana y la noche.

Este síntoma de molestia se da por las condiciones acústicas del entorno. En la mañana el ruido del túnel incrementa por el flujo vehicular y el funcionamiento de las turbinas, por ende, genera malestar en los habitantes. En la noche el ruido de tráfico disminuye, sin embargo, las turbinas siguen funcionando y esto está afectando a los habitantes.

4.7.3. Impacto negativo del túnel Guayasamín

En la última parte de la encuesta, las preguntas estuvieron enfocadas a los efectos negativos del impacto sonoro producido por el túnel. En el siguiente apartado se presentan los resultados.

- **Efectos negativos del ruido del túnel**

Los encuestados indicaron las actividades que se ven interrumpidas por el ruido del túnel. En la figura 69 se puede observar que la mayoría de encuestados sienten que el ruido causa problemas en su concentración y conciliación del sueño.

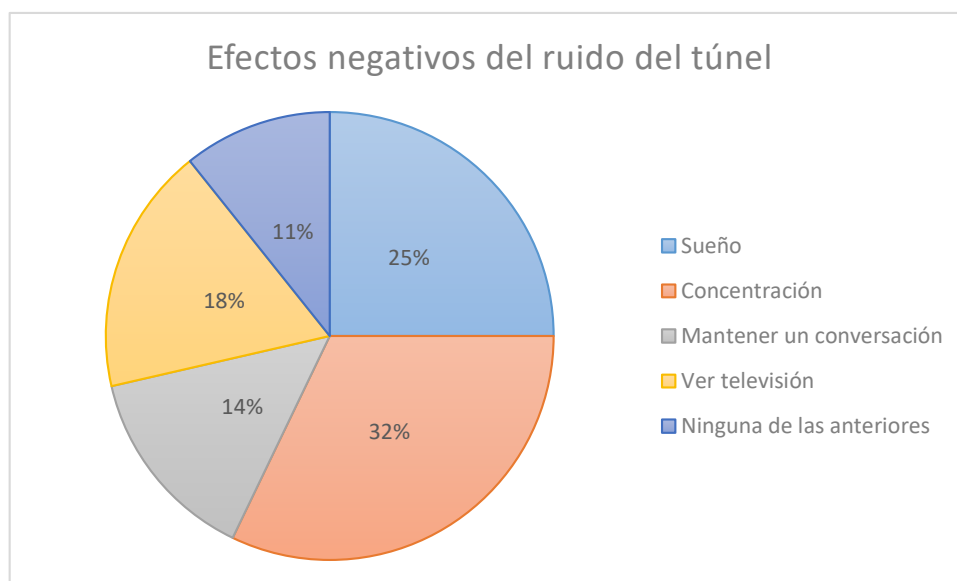


Figura 69. Efectos negativos producidos por el ruido en los habitantes afectados.

Para finalizar con la encuesta se realizó una pregunta sobre el caso hipotético donde no existiera el túnel Guayasamín. La pregunta fue la siguiente: **¿Cree usted que en el caso hipotético que no existiera el túnel Guayasamín, sentiría menor molestia por ruido?**

Como se indica en la figura 70, el 88% de encuestados respondieron que sentirían menor molestia por el ruido del túnel y apenas el 12% piensa que la molestia del ruido no es importante.

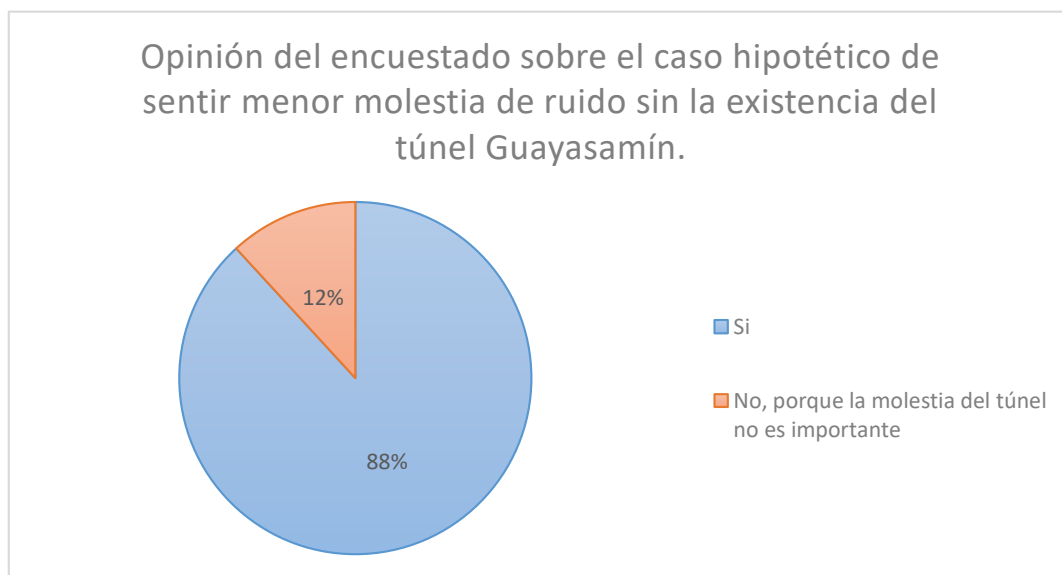


Figura 70. Opinión del encuestado sobre un escenario donde no existiera el túnel Guayasamín.

4.8. Medidas correctivas/ preventivas

Después de comprobar que el ruido ambiental en las zonas cercanas al túnel no está dentro de los valores recomendados y está generando molestia en los habitantes, se plantearon algunas medidas. En los siguientes apartados se presentan los resultados.

4.8.1. Funcionamiento parcial de las turbinas

Se planteó un funcionamiento parcial de las turbinas internas del túnel Guayasamín. Por medio de la simulación se pudo observar que existe una mejoría en la calidad acústica de las zonas afectadas.

Tabla 13

Condiciones iniciales de la medida correctiva

Funcionamiento turbinas (horas)		
Horario	Actual	Medida correctiva
Día	5	2
Tarde	5	2
Noche	3	0

Esta medida se planteó relacionando el tráfico vehicular con el funcionamiento de las turbinas. Es de conocimiento que las horas pico de tráfico duran aproximadamente 2 horas, por ende, las turbinas podrían funcionar durante ese mismo período. Esta medida se podría llevar a cabo, ya que el aire que se genera en el interior del túnel, incrementa su temperatura por la constante emisión de gases de los vehículos. En ese sentido cuando existe mayor tráfico vehicular, las turbinas deberían funcionar para mantener en condiciones normales el aire interno, mientras que en bajas condiciones de tráfico las turbinas podrían permanecer apagadas.

Respecto a lo pronunciado en el párrafo anterior, en el modelo computacional se establecieron las condiciones de esta medida correctiva. Los resultados mostraron que existe una mejoría en las zonas aledañas al túnel Guayasamín.

- **Niveles diurnos**

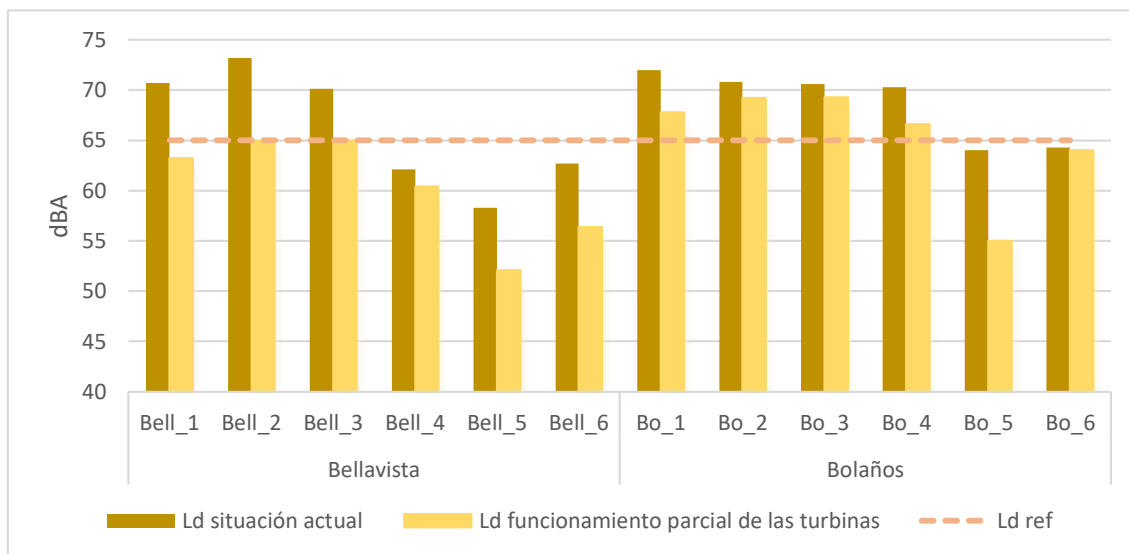


Figura 71. Niveles diurnos- Funcionamiento parcial de las turbinas

Como se observa en la figura 71, en el sector de Bellavista existe una disminución de los niveles diurnos con respecto a la situación actual, mejorando las condiciones acústicas de las zonas aledañas al túnel. Se evidencia que los niveles diurnos alcanzan los 65 dBA, cumpliendo con los valores recomendados por la normativa colombiana. Por otro lado, en Bolaños esta medida sigue siendo insuficiente para mejorar la calidad acústica de ese sector, se evidencia que los niveles diurnos alcanzan los 70 dBA.

- **Niveles nocturnos**

En el período nocturno, se observa que los niveles en los dos sectores no superan los 55 dBA, aunque no están dentro del valor recomendado, sin duda las condiciones acústicas mejorarían para los habitantes de las zonas afectadas.

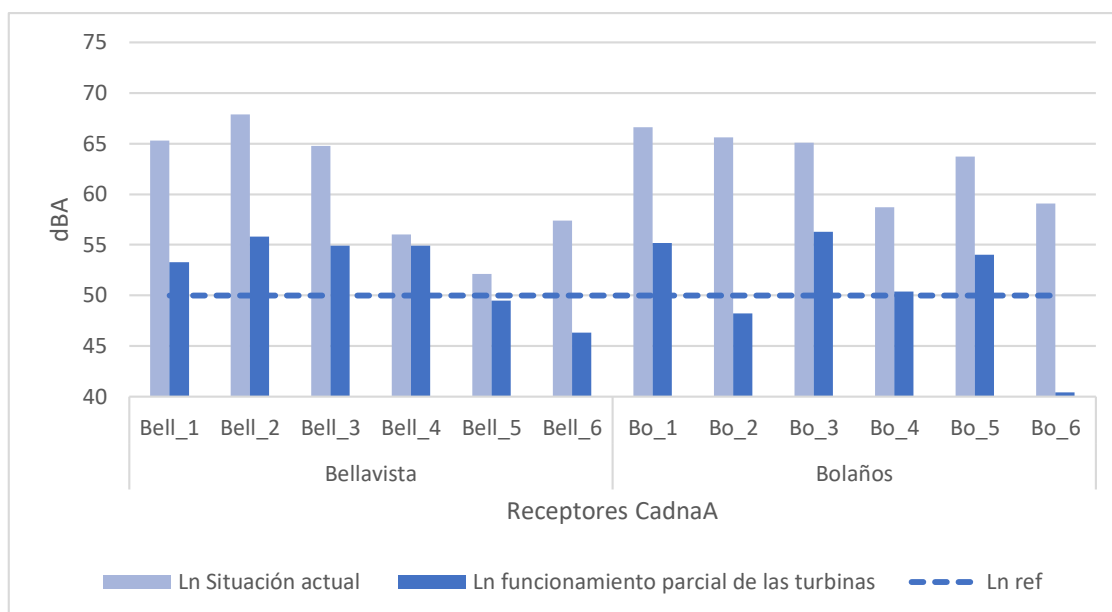


Figura 72. Variación de niveles nocturnos con el funcionamiento parcial de las turbinas internas del túnel Guayasamín.

Esta medida reduciría el nivel de impacto acústico diurno y nocturno en los sectores aledaños al túnel Guayasamín. Aunque en el día reducen en promedio 5 dBA, para la noche el nivel de impacto disminuye 9 dBA con respecto a la situación actual. Finalmente, se puede decir que el funcionamiento parcial de las turbinas reduce el impacto nocturno significativamente para los habitantes afectados.

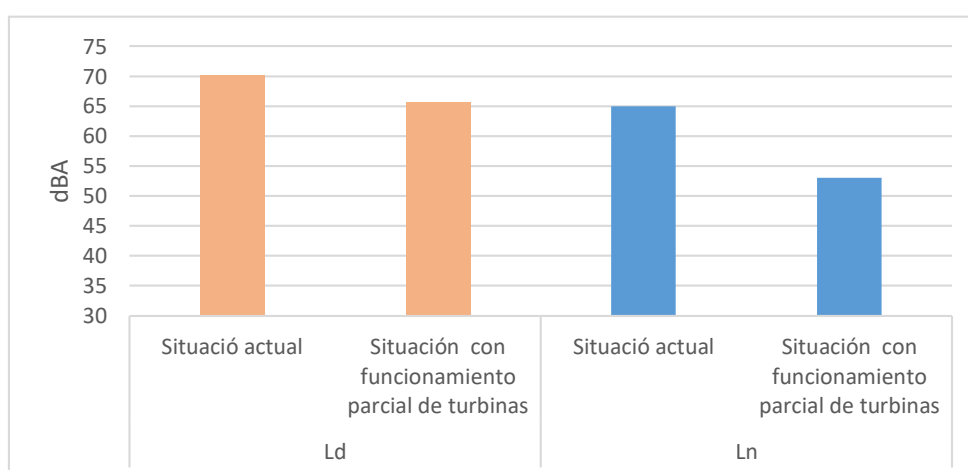


Figura 73. Variación de niveles de ruido ambiental en sectores aledaños al túnel Guayasamín - Funcionamiento parcial de las turbinas

Ahora bien, la medida correctiva está propuesta desde un enfoque acústico-ambiental, sin embargo, se debería considerar otras condiciones que influyen en gran magnitud, para evaluar la viabilidad de la medida. En primer lugar, se debería considerar los efectos que se pueden producir por apagar las turbinas internas durante el período propuesto. Generalmente los ventiladores extraen aire del ambiente para inyectar a la parte interna del túnel, de esta manera la acumulación de CO₂ (Monóxido de carbono) y NO_x (óxidos de nitrógeno) son expulsados hacia la boca del túnel. En ese sentido, el efecto que podría generarse en el interior del túnel, mientras las turbinas permanezcan apagadas, sería el incremento de los niveles de CO₂ y NO_x, por la poca circulación de aire fresco, convirtiéndose en un problema de contaminación del aire. Otro de los efectos podría ser el incremento de la temperatura interna del túnel, por la dificultad para evacuar la acumulación de los humos y el calor generado por el paso de vehículos.

Finalmente se debería evaluar si los efectos internos, nombrados anteriormente, se convertirían en un problema de mayor magnitud que la contaminación acústica que existe en la actualidad.

4.8.2. Control de velocidad

Otra medida que se planteó para este estudio fue el control de velocidad para vehículos que circulan por el interior del túnel. Según la Agencia Nacional de Tránsito, en el túnel Guayasamín **NO** existen radares que controlen la velocidad. Por ello se consideró esta medida, puesto que los vehículos son otra de las fuentes que aportan al ruido del túnel. Para esta medida se ha considerado una velocidad de 40 km/h para vehículos livianos. En la actualidad el límite de velocidad por el interior del túnel es de 50 km/h, según la ANT.

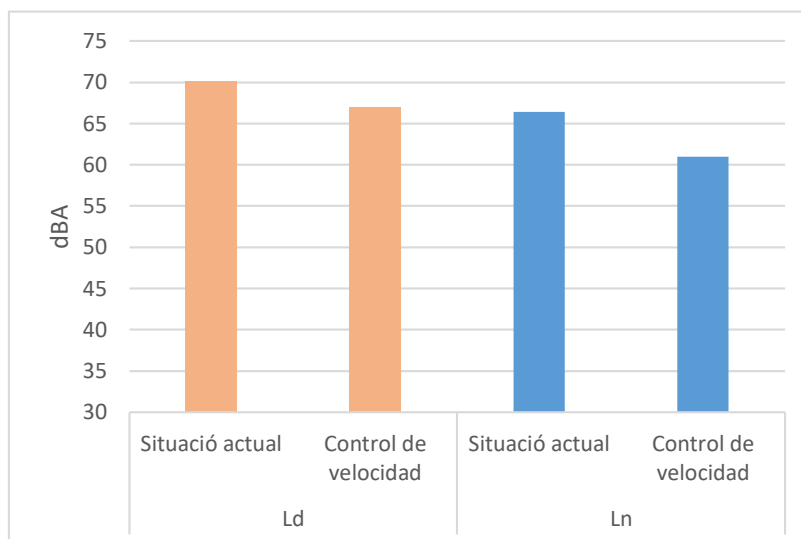


Figura 74. Variación de niveles de ruido ambiental en sectores aledaños al túnel Guayasamín-Control de velocidad.

Como se observa en la figura 74, esta medida sería insuficiente para que los sectores aledaños al túnel tengan mejores condiciones acústicas. Se evidencia una pequeña diferencia entre los niveles actuales y los niveles de la medida planteada, sin embargo, los niveles de ruido siguen siendo perjudiciales para los habitantes. Cabe destacar que el transporte pesado no se consideró para esta medida, ya que el paso de tráfico pesado está prohibido en el túnel. A pesar de esto, la medida planteada no mostró mejores resultados.

4.8.3. Tratamiento acústico en el interior del túnel

Como se explicó en los capítulos introductorios del presente estudio, una de las soluciones para control de ruido en túneles, es el tratameiento acústico del mismo. Si bien, podría ser una medida de mayor investigación, sería una solución que ayudaría a que el túnel Guayasmín no sea tan ruidoso.

Se tiene el ejemplo del acondicionamiento acústico del túnel de Alcázaba, llevado a cabo en España en el año de 2015, donde se realizó un tratamiento acústico al interior del túnel (Aragüez del Corral, 2015). En ese estudio realizaron

diversas propuestas con diferentes métodos de tratamiento acústico, en la figura 75 se observan los resultados.

PROPUESTA	DESCRIPCIÓN	REDUCCIÓN ACÚSTICA (dBA)	NIVEL SONORO FINAL (dBA)	PRECIO ORIENTATIVO (€)	€/ dBA de reducción	CUMPLIMIENTO CON NORMATIVA
1	ASFALTO FONOAORSORBENTE	3	98,22	27.800,00	9.267	NO
2	MORTERO ABSORBENTE	7	94,45	25.800,00	3.811	NO
3	BARRERAS DE METACRILATO	1	100,5	111.900,00	155.417	NO
4	ASFALTO+MORTERO+BARRERAS	12	89,34	263.550,00	22.184	NO
5	PANELES ABSORBENTE	5	96,18	553.800,00	109.881	NO
6	PASILLO AISLADO	41	60	383.400,00	9.301	SI

Figura 75. Resultados del tratamiento acústico al túnel de Alcázaba.

Tomado de (Aragüez del Corral, 2015).

Es evidente que el tratamiento de “**Pasillo aislado**” podría ser la mejor opción para acondicionar acústicamente el túnel Guayasamín, en promedio esta medida reduce hasta 41 dBA los niveles sonoros. Se trata de un método donde se colocan paneles acústicos, con un muro divisorio, que forman un pasillo a lo largo del túnel. En la parte de acondicionamiento acústico, han colocado capas de Asfalto Fonoabsorbente con un espesor de 3cm para tráfico liviano, asimismo se ha colocado un techo acústico con material absorbente (Basotect). Para la parte de aislamiento acústico han utilizado IMPACTODAN (material para aislamiento de ruido de impacto y aéreo) entre pared-techo, suelo y pared-suelo; asimismo el DANOFON (material para aislamiento de ruido aéreo) han utilizado para la parte del trasdosado (Aragüez del Corral, 2015).

Se puede presumir que esta medida correctiva sería la mejor, sin embargo, se debería evaluar todos los factores que puedan influir en el desarrollo de esta medida. Se podría hacer un análisis de la estructura interna del túnel y determinar si es posible realizar alguna modificación interna. Asimismo, se debería realizar un análisis al tiempo de reverberación del túnel Guayasamín, para determinar los tipos de materiales que se podrían utilizar para realizar el tratamiento.

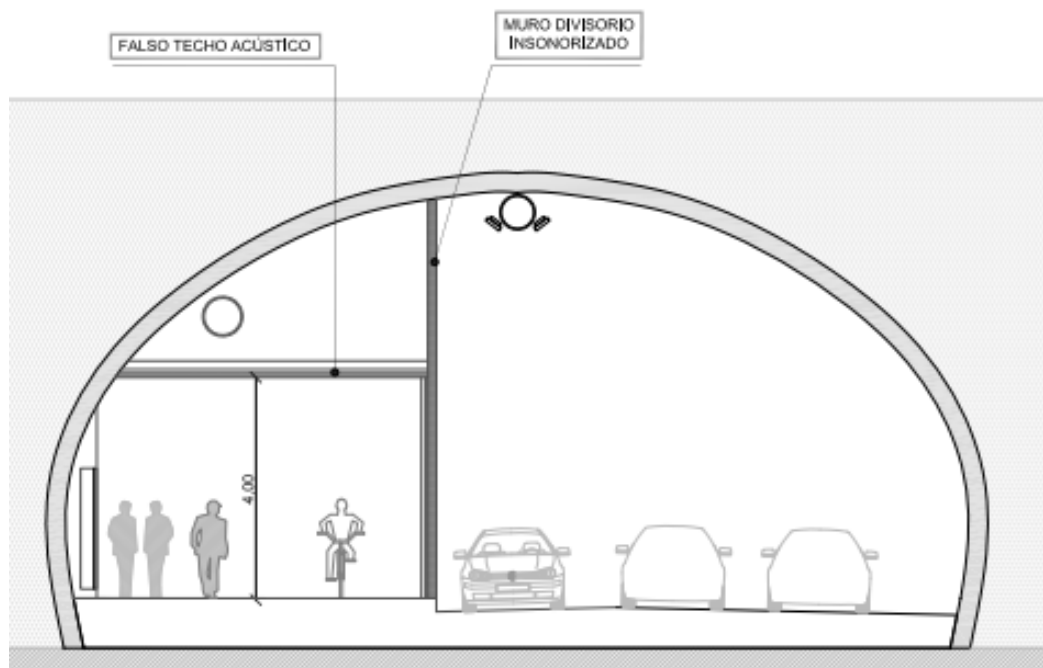


Figura 76. Plano de pasillos aislados.

Tomado de (Aragüez del Corral, 2015).

4.9. Resumen y discusión de resultados

4.9.1. Resumen de resultados

El modelo computacional y las encuestas socio acústicas ayudaron a determinar que el túnel Guayasamín genera un **impacto acústico significativo** sobre los habitantes que residen en las zonas aledañas al túnel.

Se comprobó, que además del túnel, el ruido de tráfico también genera un impacto en los habitantes. Esto se determinó por medio del mapa acústico, donde se visualizó que el ruido generado en la vía se concentra en las primeras líneas de edificaciones que bordean el túnel. Además, en las encuestas realizadas se identificaron habitantes que sienten molestia por el ruido de tráfico.

Respecto al número de habitantes que sufren un impacto negativo a causa del túnel, se puede señalar que es una cifra importante de habitantes afectados. En el día, se estima que el ruido del túnel está afectando al 44% de habitantes que viven en Bellavista y Bolaños, con niveles diurnos que superan los 65 dBA. Asimismo para la noche, se determinó que el 82% de habitantes están siendo afectados por el ruido del túnel, con niveles nocturnos por encima de los 50 dBA.

De acuerdo con el análisis en horario nocturno, se comprobó que existe mayor zona de influencia en ambos sectores evaluados. A pesar que en este horario existe mayor restricción de ruido ambiental, se evidenciaron altos niveles de ruido. Por esta razón, los moradores indicaron que sienten mayor molestia en la noche y han presentado problemas para conciliar el sueño.

Por último, de las medidas planteadas, se comprobó que el tratamiento acústico al túnel sería la más conveniente para mejorar la calidad acústica de los sectores aledaños, reduciendo hasta 41 dBA los niveles sonoros.

4.9.2. Discusión

En primer lugar, el ruido del túnel Guayasamín es muy singular, dado que es de baja frecuencia, esto se pudo observar en el espectro del ruido medido con el sonómetro. En ese sentido, se puede presumir que este tipo de ruido podría no estar relacionado directamente con el dBA, debido a que la ponderación A penaliza mayormente en bajas frecuencias. Es por tanto que se puede estar subestimando el ruido del túnel y con ello, el efecto que puede generar en los habitantes. Por esta razón, se puede mencionar que el dBC es una mejor ponderación para este tipo de ruido, dado que no penaliza mayormente el contenido espectral en bajas frecuencias.

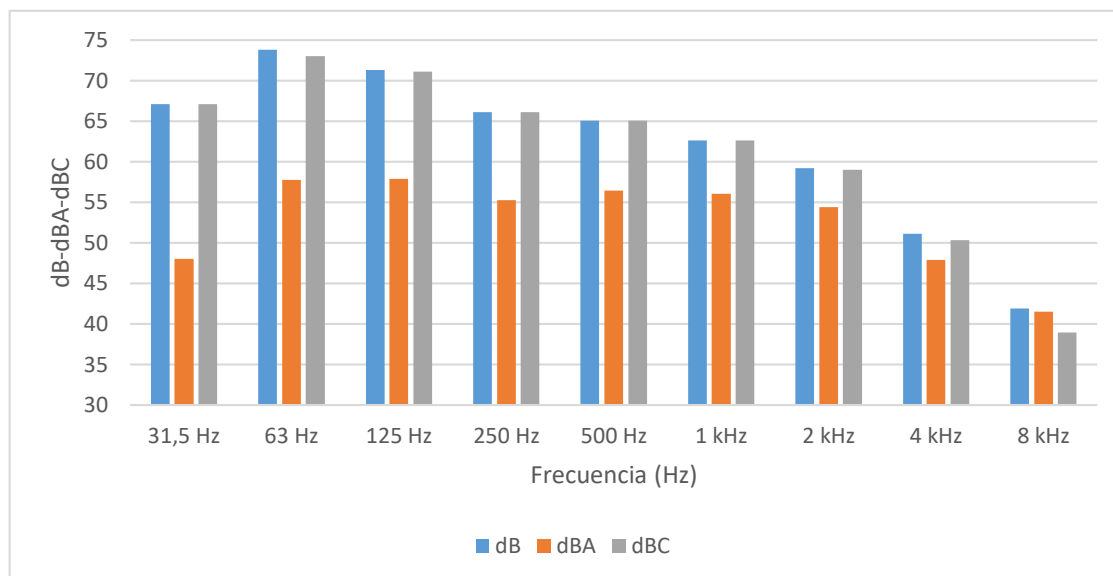


Figura 77. Variación del espectro del ruido del túnel Guayasamín, respecto al tipo de ponderación.

Tabla 14.

Variación del Leq con respecto al tipo de ponderación.

	dB	dBC	dBA
Ruido del túnel Guayasamín (Leq)	77.23	76.82	64.47

Como se observa en la tabla 14, el nivel de ruido del túnel varía dependiendo la ponderación. Es evidente que en dBA el ruido del túnel se atenúa aproximadamente 12 dB, mientras que en dBC el ruido se reduce 1 dB, es por tanto que se ha demostrado que el dBA para ruido de túneles podría estar limitando los problemas que pueden originarse por la baja frecuencia. Asimismo esta ponderación podría no ser la indicada para evaluar la molestia generada por el ruido del túnel Guayasamín. Se conoce que la molestia generada por el ruido depende de la reacción natural de la persona (Correa et al., 2018). Sin embargo, para este estudio el ruido es de baja frecuencia, por ello, se puede presumir que la molestia que existe en los moradores por el ruido del túnel Guayasamín es por la baja frecuencia, puesto que tiene un mayor componente energético en dichas frecuencias.

Se ha demostrado que el ruido de baja frecuencia puede generar los mismos efectos que las medias y altas frecuencias. En la siguiente tabla se puede observar los efectos que produce la baja frecuencia en las personas.

Exposición	Datos de tolerancia Comportamiento observado
0 a 50 Hz Hasta 145 dB	Vibración de la pared torácica, sensaciones de arcadas, cambios del ritmo respiratorio, post-fatiga por exposición; tolerancia voluntaria no excedido
50 a 100 Hz Hasta 154dB	Dolor de cabeza, asfixia, tos, visual borrosidad y fatiga; voluntario límite de tolerancia alcanzado
Discreto frecuencias	Síntomas del límite de tolerancia
100 Hz a 153 dB	Náuseas leves, mareos, subcostales malestar, rubor cutáneo
60 Hz a 154 dB 73 Hz a 150 dB	Tos, presión subesternal severa respiración asfixiante, salivación, dolor al tragar, mareo

Figura 78. Efectos negativos en la salud de las personas por ruido de baja frecuencia.

Tomado de (Broner, 1978).

En ese sentido, como se ha demostrado que la baja frecuencia genera efectos negativos en las personas, y los indicadores que normalmente se utilizan para ruido ambiental, no son los adecuados para este tipo de ruido, se han desarrollado otros indicadores de referencia para evaluar la molestia en las personas.

Un indicador de contenido de baja frecuencia es la diferencia entre dBC – dBA, si dicha diferencia supera los 20 dB, se demuestra que la molestia por ruido se puede dar en baja frecuencia (Broner, 1978). Asimismo otro de los indicadores con el mismo principio de diferencia, es entre dB Lineal- dBA que correlaciona la

molestia en las personas con los bajos niveles sonoros (Cocchi, Fausti, & Piva, 1992).

El ruido generado por el túnel Guayasamín tiene mayor zona de influencia en las residencias más cercanas a su boca, por ende, en el sector de Bellavista existen más residencias expuestas y con ello más habitantes afectados. En el caso de los moradores de Bolaños, la situación es diferente, dado que están siendo afectados tanto por el ruido del túnel como el ruido de tráfico. Estas circunstancias se dan por la existencia de viviendas ubicadas al borde de la vía Interoceánica, ver en figura 79. Por ello, se está subestimando el impacto sonoro que puede producir únicamente la vía sobre los moradores de Bolaños. Es por tanto que para todo ese sector no sea lo más indicado una evaluación al túnel Guayasamín, sino, un estudio enfocado el impacto de la vía. Dentro de este estudio se abarcaría otros efectos acústicos, por ejemplo, las vibraciones que producen los vehículos al circular por una vía. Asimismo en la parte de encuestas se podría evaluar otros efectos que puedan estar relacionados directamente con el ruido de tráfico vehicular.



Figura 79. Residencias ubicadas al borde de la vía Interoceánica- Sector Bolaños.

Adaptado de (Google Maps, 2020).

La influencia del túnel Guayasamín hace que las zonas residenciales cercanas no estén dentro de los objetivos de calidad acústica recomendados, en este caso por una normativa internacional (Resolución 627). En las encuestas se comprobó que la mayoría de habitantes piensan que el túnel representa un daño al

medioambiente y consideran que el ruido les puede afectar en salud. Finalmete, en las encuestas presenciales que se realizaron en los sectores evaluados, cerca de 15 moradores expresaron que antes de la construcción del túnel Guayasamín **No** existía problemas de ruido en sus residencias.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En el presente estudio se realizó la evaluación del impacto acústico generado por el túnel Guayasamín, sobre los sectores residenciales que se ubican a los extremos del túnel. Para demostrar esto, se aplicaron métodos cuantitativos y cualitativos, para analizar el nivel de impacto. Se comprobó que existen zonas residenciales con niveles de ruido por encima de los valores recomendados por la normativa colombiana de ruido ambiental, y se determinó que los habitantes sienten molestia por el ruido del túnel.

En ese sentido, tras la realización del presente estudio, se ha podido llegar a diversas conclusiones.

En primer lugar, el método cuantitativo, por medio del modelo digital, permitió visualizar el campo sonoro de los sectores aledaños al túnel Guayasamín e identificar las zonas de influencia más críticas. Asimismo, se determinó como válido el modelo digital al comparar los valores medidos y simulados, puesto que la diferencia no supera los 5 dBA.

El análisis del mapa de ruido mostró que el túnel genera zonas de influencia donde existen superficies que alcanzan niveles de ruido críticos en el día y la noche, superando los valores recomendados. La mayor parte de las superficies afectadas, alcanzan los 70 dBA en el día y 60 dBA en la noche. Esto quiere decir, que la influencia del túnel está afectando a los subsectores residenciales, que son los más sensibles frente al ruido y que se ubican en las superficies afectadas.

En cuanto a los habitantes afectados, se determinó que en Bellavista y Bolaños existe una población expuesta a niveles de ruido que podrían ser perjudiciales

para su bienestar. En ese sentido se concluyó que 430 moradores de los barrios Bellavista y Bolaños, están expuestos a niveles diurnos por encima de los 65 dBA, mientras que en el período nocturno 850 habitantes están expuestos a niveles sobre los 50 dBA.

Al analizar el escenario sin influencia del túnel, se observó una reducción importante en los niveles diurnos y nocturnos. Si bien antes del túnel, existía el ruido de tráfico, se determinó, a través de una comparación entre niveles sonoros actuales y niveles sin la existencia del túnel, que el entorno presentaba mejores condiciones de calidad acústica para los habitantes. Ante este escenario, se pudo concluir que el túnel Guayasamín en la actualidad, provoca que existan sectores con malas condiciones acústicas que afectan el bienestar de los habitantes.

En la parte cualitativa de este estudio, que se desarrolló por medio de las encuestas, se determinó que existe molestia en los habitantes de los barrios Bellavista y Bolaños por el ruido del túnel. Es por eso, que más del 50% de moradores que residen en las zonas afectadas, se encuentran **altamente** molestos por el ruido que genera el túnel.

Si bien es más de la mitad de habitantes molestos, se determinó que los moradores del barrio Bellavista son los **más** afectados por el ruido del túnel. En cuanto a los habitantes de Bolaños, expresaron sentir molestia por el ruido de tráfico y el túnel. Es por esto, que el túnel Guayasamín genera un mayor nivel de impacto sonoro en el barrio Bellavista. Finalmente, se demostró que la mayoría de los encuestados perciben que sus actividades se ven afectadas por el ruido que genera el túnel.

Es así, después de haber presentado todo un análisis de resultados, tanto en la parte cuantitativa y cualitativa, se puede concluir que la existencia del túnel Guayasamín ha provocado un impacto sonoro **importante** sobre los moradores de los barrios de Bellavista y Bolaños.

Al plantear ciertas medidas correctivas para disminuir el nivel de impacto acústico, se determinó que el tratamiento acústico al túnel reduciría el nivel de impacto sonoro en los sectores aledaños. Asimismo esta medida reducía hasta 41 dBA el nivel de impacto. Por ello, se puede concluir que realizar un tratamiento acústico, ayudaría significativamente a mejorar la calidad acústica de las zonas residenciales que se ubican en las inmediaciones del túnel.

Finalmente, tras el desarrollo de todo este estudio, se comprende que el impacto que genera el ruido en general, es un problema ambiental que puede afectar al entorno. Sobre todo se convierte en una situación crítica cuando existen habitantes que comienzan a sentir molestia por el ruido. Por ello, la evaluación de un impacto ambiental puede ser una medida de protección contra el ruido o para plantear soluciones que puedan mejorar las condiciones acústicas del entorno.

5.2 Recomendaciones

Después de haber concluido el presente estudio, puede resultar interesante analizar otros aspectos relacionados a la evaluación de impacto.

En primer lugar, se puede desarrollar una encuesta enfocada a conocer otros efectos del ruido en la población, como por ejemplo: La afectación del ruido a la plusvalía de sectores urbanos y determinar si las personas estarían dispuestas a vivir en ese entorno.

Por otro lado, se podría desarrollar un modelo digital para evaluar futuras situaciones de planificación urbanística. Es decir, un análisis del comportamiento que tendría una fuente de ruido, como una infraestructura vial, en el entorno hipotético donde se desarrollaría el proyecto.

Finalmente, se podría evaluar el impacto ambiental de los túneles del centro histórico de la ciudad de Quito, ya que en estos lugares existe mayor población expuesta y mayor flujo de vehículos, sobre todo el paso de **buses** urbanos.

REFERENCIAS

- Alegre, D. (2018). El problema del ruido en los accesos a túneles y carreteras estrechas en trinchera a cielo abierto. Soluciones y novedades en la normativa europea de aplicación. Recuperado el 2 de Junio de 2020, de <https://24vyodeal.aecarretera.com/wp-content/uploads/2018/05/Presentación-PPT-D.M.-Alegre-24-Vyodeal.pdf>
- Aliaga, J. (2013). *Estudio acústico de impacto ambiental y cálculo de la incertidumbre asociada a los niveles sonoros del estado preoperacional en el Sector Industrial I-1 del municipio de Náquera*. (Tesis de maestría) Universidad Politecnica de Valencia.
- Amable, I., Méndez, J., Delgado, L., Acebo, F., de Armas, J., & Rivero, M. (2017). Contaminación ambiental por ruido. *Revista Médica Electrónica*, 39(3), 640–649. Recuperado de <https://www.medigraphic.com/pdfs/revmedele/me-2017/me173x.pdf>
- Aragüez del Corral, I. (2015). *Estudio acústico de acondicionamiento del túnel de la alcazaba máster en ingeniería acústica*. (Tesis de maestría) Universidad de Málaga.
- Arguedas, M., & Larico, C. (2017). Niveles de presión sonora continua niveles de presión sonora continua equivalente con ponderación “a” adyacente al aeropuerto internacional inca manco capac de la ciudad de Juliaca. *Investigación Científica Para El Desarrollo Sustentable*, 1(1), 9–16. Recuperado de <https://revistas.uancv.edu.pe/index.php/ISA/article/view/756>
- Arguello, L. B. (2018). Caracterización de la microempresa del sector urbano de la ciudad de Quevedo Ecuador. *Revista Nicolaita de Estudios Económicos*, 8(1), 1–7.
- Barti, R. (2016). El vehículo eléctrico y la reducción del ruido ambiente en las ciudades. Recuperado el 6 de Mayo de 2020, de <http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Oporto16/132.pdf>

- Bastián, N. (2015). Elaboración de mapa de ruido de la ciudad de Valdivia mediante software de modelación utilizando métodos de simplificación. *Síntesis Tecnológica*, 5(1), 24–36. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/282914265%0AElaboración>
- Bejarano, J. S., & Diago, S. (2018). Gestión del ruido ambiental en Valencia. *Modelling in Science Education and Learning*, 11(1), 25. <https://doi.org/10.4995/msel.2018.9240>
- Bravo, L., Chávez, M., Puyana, V., Lucio-Naranjo, J., Garzón, C., & Pavón-García, I. (2019). A cost-effective approach to the evaluation of traffic noise exposure in the city of Quito, Ecuador. *Case Studies on Transport Policy*, 7(1), 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.12.006>
- Broner, N. (1978). The effects of low frequency noise on people-A review. *Journal of Sound and Vibration*, 58(4), 483–500. [https://doi.org/10.1016/0022-460X\(78\)90354-1](https://doi.org/10.1016/0022-460X(78)90354-1)
- Buitron, F. (2017). *Propuesta para la utilización de membranas de PVC en la impermeabilización de túneles bajo la norma UNE 104424*. (Tesis de maestría) Pontifica Universidad Católica del Ecuador.
- Cangui, L. A. (2019). *Barrio Bolaños: Una alternavita dentro de una ciudad de alto riesgo* (Tesis Universidad Internacional del Ecuador). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Casas, O., Betancur, C., & Erazo, J. (2015). Revisión de la normatividad para el ruido acústico en Colombia y su aplicación. *Entramado*, 11(1), 264–286. <https://doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21106>
- Cocchi, A., Fausti, P., & Piva, S. (1992). Experimental Characterisation of the Low Frequency Noise Annoyance Arising from Industrial Plants. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 11(4), 124–132. <https://doi.org/10.1177/026309239201100404>
- Cohen, M. A. (2017). Contaminación auditiva y ciudad cambiante. *JSTOR*, 32(1), 65–96. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/44272850>

- Contreras, Miranda, W. C., Delgado, J. L., Mary, O., Rondón, M., & Contreras, A. (2017). Estudio de distribución espacial de la contaminación acústica en la ciudad de Mérida, Venezuela. *Ecodiseño y Sostenibilidad*, 9(1), 1–53.
- Contreras, P. (2013). *Límite y alcance de la ordenanza municipal 123 para controlar la contaminación ambiental ecuatoriana*. (Tesis) Universidad Internacional SEK.
- Correa, F., Osorio, J. D., & Carreño, C. (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(1), 181–213. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6535683>
- Cruz, M. (2017). *Comparison of impulse noise measurements and calculations by noise prediction methods: ISO 9613-2, NMPB-2008, Nord 2000 and Harmonoise*. (Tesis de Maestría) Norwegian University of Science and Technology.
- Curet, C., & Roitman, D. (2016). Tinnitus – Evaluación Y Manejo. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 27(6), 848–862. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2016.11.017>
- El Comercio. (2019). *La contaminación auditiva en Quito llega a niveles muy altos*. Recuperado el 22 de Junio de 2020, de <https://www.elcomercio.com/tendencias/contaminacion-auditiva-quito-ambiente-niveles.html>
- El Telégrafo. (2016). *Ruido en el túnel Guayasamín*. Recuperado el 30 de Mayo de 2020, de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/quito/1/los-vecinos-de-bolanos-obligados-a-caminar>
- Espinosa, P. (2018). *Evaluación de la contaminación acústica producida por el tráfico vehicular en la ciudad de Ibarra*. (Tesis de ingeniería) Universidad de las Américas.
- Gómez, M. (2015). Assessment of the RLS 90 calculation method for predicting

- road traffic noise in Colombian conditions. *Revista Facultad de Ingeniería*, 1(75), 175–188. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n75a17>
- González, A. (2005). *Evaluación de impacto acústico: Modelos predictivos sencillos que podrían dar complicaciones*. Universidad de la República de Uruguay.
- Google Maps. (2020). *Túnel Guayasamín*. Recuperado el 5 de Mayo de 2020, de <https://www.google.com.ec/maps/@-0.1865944,-78.4305382,11z>
- Guijarro, J., Terán, I., & Valdez, M. (2016). Determinación de la contaminación acústica de fuentes fijas y móviles en la vía a Samborondón en Ecuador. *Ambiente y Desarrollo*, 20(38), 41. <https://doi.org/10.11144/javeriana.ayd20-38.dcaf>
- Hernández, R. (2018). El ruido vehicular: un problema de contaminación en la ciudad de Loja, Ecuador. *CEDAMAZ*, 08 (1), 9–14.
- INEC. (2010). Densidad poblacional de la ciudad de Quito. Recuperado el 7 de Mayo de 2020, de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/search/Población,+superficie+\(km2\),+densidad+poblacional+a+nivel+parroquial/](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/search/Población,+superficie+(km2),+densidad+poblacional+a+nivel+parroquial/)
- ISO/TS15666. (2003). *Evaluación de la molestia por ruido mediante encuestas socioacústicas*.
- ISO 9613-2. (1996). *Atenuación del sonido durante la propagación en el exterior. Parte 2: Método general de cálculo*.
- Kuznik, A., Hurtado, A., & Espinal, A. (2010). El uso de la encuesta de tipo social en traductología: características metodológicas. *MonTi*, 1(2), 315–344. <https://doi.org/10.6035/monti.2010.2.14>
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). *Resolución 627: Norma nacional de emisión de ruido*. Medellín, Colombia.
- Montoya, E. (2016). *Elaboración de normativa acústica, asociada a la etapa de operación de parques eólicos en Chile* (Tesis de Maestría Universidad Tecnológica de Chile). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3309.2721>

- Morales, A., Franco, R., & Espinosa, W. (2017). Análisis del paisaje sonoro y su relación con la contaminación por ruido ambiental para la denominada zona norte de la ciudad de Medellín. In *INVESTIGACIÓN FORMATIVA EN INGENIERÍA* (pp. 125–139).
- Muñoz, V. A. (2011). Contaminación Acústica. Recuperado de <http://www.victoria-andrea-munoz-serra.com/arquitectura.html>
- Noroña, M. (2018). Comparison of the Noise Produced in the San Eduardo Tunnel and Santa Ana Hill , Located in the City of Guayaquil. *INNOVA*, 3(2), 161–165.
- Open Street Map. (2020). *Túnel Guayasamín*. Recuperado el 22 de Junio de 2020, de <https://www.openstreetmap.org/search?query=tunel%20guayasamin#map=17/-0.19083/-78.47792>
- Ortiz, J. (2014). ALCOI (ALICANTE) Estudio Acústico. *ALCOINNOVA, PROYECTO INDUSTRIAL Y TECNOLÓGICO*, 1(1), 1–60.
- Pamies, M. I. (2014). *Estudio del impacto acústico de la llegada del ave a Alicante*. (Tesis de Maestría) Universidad de Alicante.
- Peñaloza, I., Flores, A., & Hernández, M. (2016). Contaminación acústica en la zona 3 de la ciudad de Querétaro: comparación de los niveles de ruido reales y los apreciados por los habitantes. *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, 4(9), 39–56. <https://doi.org/10.21933/j.edsc.2016.09.159>
- Peral, R., Fabra, M., & Campillo, N. (2017). Como mejorar el aislamiento acústico en el hogar. Recuperado el 20 Julio de 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6204393>
- Recio, A., Carmona, R., Linares, C., Ortiz, C., Banegas, R., & Diaz, J. (2016). Efectos del ruido urbano sobre la salud: estudios de análisis de series temporales realizados en Madrid. In *Instituto de salud Carlos III, Escuela Nacional de Sanidad*. Recuperado de <http://gesdoc.isciii.es/gesdoccontroller?action=download&id=18/10/2>

016-72b28c0577

- Sandoval, A. (2005). Ruido por Tráfico Urbano: Conceptos, Medidas Descriptivas y Valoración Económica. *Revista De Economía Y Administración*, 1(1), 1–49.
- Tacuri, C. F., Calderón, F. S., & Sellers, C. A. (2016). Modelación del ruido por tráfico vehicular en la calle Mariscal Lamar en la ciudad de Cuenca. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 8(14), 88–94. <https://doi.org/10.18272/aci.v8i14.303>
- Terán, S. (2016). *Medición de Parámetros de la Teoría de Colas aplicada al Peaje del Túnel Guayasamín*. (Tesis de ingeniería) Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Vargas, F. R., & Vargas, I. Z. (2017). Contaminación acústica en la ciudad de Santiago de los Caballeros, República Dominicana. El caso de las zonas aledañas a la Universidad Tecnológica de Santiago. *DELLOS*, 11(31), 1–14.
- Villacis, J. I. (2016). *Propuesta de metodología para monitoreo estructural de los túneles, Caso Túnel Guayasamín*. (Tesis de ingeniería) Universidad San Francisco de Quito.
- Witt, B. (2015). A y C – Mediciones ponderadas del ruido. Recuperado el 7 de Agosto de 2020, de https://www.honeywellsafety.com/LA/Training_and_Support/A_y_C_-_Mediciones_ponderadas_del_ruido.aspx

ANEXOS

Anexo 1

Espectro frecuencial por punto de medición (ponderación A)

Posición-Microfono	Ponderación	31,5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	Leq, 5min
1	dB	68.24	68.05	66.36	65.19	66.63	66.56	63.15	52.48	40.87	75.1
	dBA	49.14	51.95	52.96	54.29	58.03	59.96	58.35	49.28	38.97	69.8
2	dB	72.00	82.21	78.07	71.55	72.69	70.46	66.92	56.55	44.64	84.7
	dBA	52.90	66.11	64.67	60.65	64.09	63.86	62.12	53.35	42.74	71.8
3	dB	69.01	72.06	67.51	56.76	63.17	58.13	54.21	44.27	35.98	75.2
	dBA	49.91	55.96	54.11	45.86	54.57	51.53	49.41	41.07	34.08	67.8
4	dB	66.73	66.64	60.25	54.67	58.15	53.90	49.66	42.49	35.68	70.7
	dBA	47.63	50.54	46.85	43.77	49.55	47.30	44.86	39.29	33.78	54.3
5	dB	68.56	70.97	63.29	57.12	57.82	53.33	47.86	37.97	30.70	73.7
	dBA	49.46	54.87	49.89	46.22	49.22	46.73	43.06	34.77	28.80	58.4
6	dB	64.15	69.86	63.85	54.95	57.65	52.85	49.48	38.39	27.23	72.0
	dBA	45.05	53.76	50.45	44.05	49.05	46.25	44.68	35.19	25.33	57.5
7	dB	62.86	64.90	61.73	55.21	53.57	52.15	48.10	37.16	26.76	68.6
	dBA	43.76	48.80	48.33	44.31	44.97	45.55	43.30	33.96	24.86	54.6
8	dB	60.75	64.74	60.62	54.32	55.31	52.89	48.82	39.54	28.66	67.9
	dBA	41.65	48.64	47.22	43.42	46.71	46.29	44.02	36.34	26.76	54.5
9	dB	62.29	64.26	57.76	52.11	53.51	50.82	48.24	39.10	30.61	67.4
	dBA	43.19	48.16	44.36	41.21	44.91	44.22	43.44	35.90	28.71	53.2
10	dB	64.51	68.02	59.56	53.50	54.61	53.96	51.96	41.41	32.31	80.4
	dBA	45.41	51.92	46.16	42.60	46.01	47.36	47.16	38.21	30.41	71.6
11	dB	66.21	72.96	66.14	62.15	63.07	59.53	55.56	46.56	35.79	75.2
	dBA	47.11	56.86	52.74	51.25	54.47	52.93	50.76	43.36	33.89	67.2
12	dB	66.65	75.89	78.70	74.37	69.12	65.20	62.36	58.91	51.06	82.0
	dBA	47.55	59.79	65.30	63.47	60.52	58.60	57.56	55.71	49.16	72.8

Anexo 2

Validación de datos del modelo computacional

Zona	Punto de medición	Medido	Modelado	Diferencia
Bellavista	1	69.8	70.3	0.5
	2	71.8	76.4	4.6
	3	65.4	68.2	2.8
	4	54.3	55.2	0.9
	5	58.4	58.6	0.2
	6	57.5	60.5	3.0
	7	54.6	58.5	3.9
	8	54.5	59.2	4.7
	9	53.2	54.8	1.6
	10	71.6	74.5	2.9
	11	67.2	69.5	2.3
	12	72.8	73.7	0.9
	13	69.7	71.4	1.7

Anexo 3

Encuesta Socio acústica

Preguntas Generales

1. Género *

Marcar solo una casilla

Masculino

Femenino

2. Edad *

Marcar solo una casilla

18 a 28

29 a 40

41 a 50

51 a 60

mayor a 60

4. Cuánto tiempo lleva viviendo en su domicilio? *

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

5. Cuantas horas al día permanece en su domicilio de lunes a viernes? *

- 1 a 5 horas
- 5 a 10 horas
- 10 a 15 horas
- 15 a 20 horas
- todo el día

6. Cuántas horas al día permanece en su domicilio el fin de semana? *

- 1 a 5 horas
- 5 a 10 horas
- 10 a 15 horas
- 15 a 20 horas
- todol el día

8. Que importancia cree usted que tiene el efecto negativo del ruido en su vida cotidiana? *

Marcar solo una casilla

- Muy importante
- Importante
- Poco importante
- Nada importante

9. Indique cual de estos elementos siente usted que generan molestia por ruido en su domicilio. Siendo 1 nada molesto y 5 extremadamente molesto *

	1	2	3	4	5
Tráfico vehicular	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Túnel Guayasamín	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vecinos ruidosos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. En la siguiente tabla indique el grado de molestia que usted siente por ruido. Siendo 1 nada molesto y 5 extremadamente molesto *

	1	2	3	4	5
En la mañana (7am a 9pm) *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En la noche (9pm a 6am)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11. Con respecto al túnel Guayasamín, califique del 1 al 5 la molestia que percibe. Siendo 1 nada molesto y 5 extremadamente molesto *

	1	2	3	4	5
Molestia generada por el túnel Guayasamín	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

12. Que actividades se ven interrumpidas por la molestia generada por el ruido del túnel Guayasamín *

- Sueño
- Concentración
- Mantener una conversación
- Ver televisión, escuchar música
- Ninguna de las anteriores

Impacto negativo del túnel Guayasamín

13. Si usted podría definir la hora donde más siente molestia por el ruido del túnel Guayasamín. Cual sería? *

- Mañana
- Tarde
- Noche
- Todo el día

14. Cree usted que el ruido generado por el túnel Guayasmín afecta en su salud o actividades diarias *

- sí
- no

15. Cree usted que en el caso hipotetico que no existiera el túnel Guayasamín, sentiría menor molestia por ruido *

- Si
- Posiblemente
- No, porque me molesta el ruido por tráfico vehicular

