

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de
Ingeniero Ambiental

TRABAJO EXPERIMENTAL:

Predicción de Ruido por Tráfico Vehicular y Elaboración del mapa de Ruido
utilizando el Modelo HARMONOISE del Centro Histórico de Cuenca

AUTOR:

Freddy Marco Armijos Arcos

TUTOR:

Ing. Rubén Fernando Jerves Cobo, M.Sc.

CUENCA – ECUADOR

2018

CESION DE DERECHOS

Yo, Freddy Marco Armijos Arcos, con cédula de identidad No. 0603510736, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud que soy autor del trabajo de grado: “Predicción de Ruido por Tráfico Vehicular y Elaboración del mapa de Ruido utilizando el Modelo HARMONOISE del Centro Histórico de Cuenca”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, mayo 2018



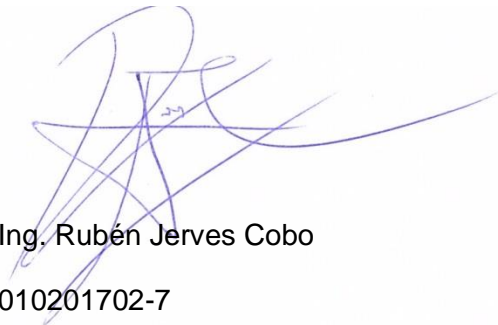
Freddy Marco Armijos Arcos

0603510736

CERTIFICACIÓN

Yo declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “Predicción de Ruido por Tráfico Vehicular y Elaboración del mapa de Ruido utilizando el Modelo HARMONOISE del Centro Histórico de Cuenca”, realizado por Freddy Marco Armijos Arcos, obteniendo un Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, mayo 2018



Ing. Rubén Jerves Cobo
010201702-7

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Freddy Marco Armijos Arcos, con cédula de identidad No. 0603510736, autor del trabajo de titulación: “Predicción de Ruido por Tráfico Vehicular y Elaboración del mapa de Ruido utilizando el Modelo HARMONOISE del Centro Histórico de Cuenca”, certifico que el total contenido de este trabajo experimental es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, mayo 2018



Freddy Marco Armijos Arcos

060351073-6

AGRADECIMIENTOS

Es una limitación del lenguaje el reflejar fehacientemente lo que el alma, la mente y el corazón realmente desean expresar.

Y es que un gracias, aún el más sincero y sentido, considero que no llega a ser suficiente para todas aquellas personas que han facilitado que este trabajo llegue al fin a su conclusión, y cuando digo al fin, significa realmente AL FIN, con mayúsculas incluidas.

Agradezco, pues, a mi padre y madre a quienes se les debe todo, desde la vida en sí, por darme e inculcarme los valores, la ética, el rigor y sobre todo el amor, que han definido quien soy. También a mis hermanos, y abuelas que de una u otra forma han influido en mí. Con todos ellos, pero sobre todo mis padres, nunca dejaré de estar agradecido sean cuales fueren las circunstancias presentes y futuras.

Gracias, a Cecilia y su familia quienes estuvieron en el inicio de mi vida académica. Y a todos mis amigos, presentes y pasados, que también han influido en quien soy.

Agradezco, también, a la Universidad como institución guiadora, en particular a Rubén Jerves, quien ha contribuido no solo al desarrollo del presente trabajo, sino también a mi crecimiento profesional y personal.

DEDICATORIA

*¿Quién dedica un trabajo a sus mascotas?
¡Seré yo quien lo haga!,
después de todo, ellos fueron
quienes me acompañaron
mientras estudiaba y descansaba
A ellos.*

Por Luke.

RESUMEN

El presente trabajo analiza la situación actual de la generación de mapas de ruido, y en base a levantamiento de información del Centro Histórico de Cuenca que incluye geometría de la vía, características de los vehículos y del flujo de tráfico vehicular, meteorología, topografía y datos de monitoreos históricos. Se elaboran scripts en base MATLAB, para la predicción del ruido por tráfico vehicular y la generación de un Mapa de Ruido mediante el modelo de propagación HARMONOISE, el mismo que es validado con mediciones in-situ, obteniendo una incertidumbre menor a 1 dB(A) para el modelo de predicción, y de 3 dB(A) para el modelo de propagación.

Palabras claves: Ruido, Tráfico vehicular, Harmonoise, Cuenca.

ABSTRACT

The following article presents a state of art of noise mapping, and based on information of the Cuenca Historic Center. This study includes road traffic data, vehicle characteristics, street geometry, meteorology, topography and historical data of noise monitoring. Scripts for Road Traffic Noise Prediction were elaborated on MATLAB, and Noise Mapping were constructed using Harmonoise Model. At same time, the results were validated with in-situ monitoring, resulting an uncertainty less than 1 dB(A) for the noise prediction model and 3 dB(A) for the propagation model.

Keywords: Noise, Traffic, Harmonoise, Cuenca

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. Marco Teórico	4
3.1. Nociones Básicas	4
3.1.1. El sonido	4
3.1.2. Propiedades de las ondas sonoras.....	4
3.1.3. Presión sonora.....	5
3.1.4. Potencia sonora.....	5
3.1.5. Niveles	6
3.1.6. Intensidad del Sonido	7
3.1.7. Niveles sonoros ponderados.....	8
3.1.8. Bandas de octava.....	9
3.2. Propagación del Ruido en exteriores	9
3.2.1. Normativa de referencia	10
3.2.2. Descripción de la fuente	10
3.2.3. Ecuaciones básicas.....	11
3.2.4. Divergencia geométrica.....	11
3.2.5. Absorción del aire.....	12
3.2.6. Efecto del suelo	13
3.2.7. Barreras/Apantallamiento.....	14
3.2.8. Otros tipos de atenuación	16
3.2.9. Efectos particulares del viento y la temperatura.....	17
3.3. Predicción del nivel sonoro.....	18
3.3.1. Métodos de cálculo.....	18
3.3.2. Modelos de predicción y propagación	20
3.4. Mapas de Ruido.....	23
3.4.1. Base legal de los Mapas de Ruido.....	23
3.4.2. Preparación.	24
3.4.3. Procedimiento.....	24
4. Metodología.....	28
4.1. Definición del Área de Estudio	29
4.2. Determinación de la Fuente de Ruido.....	29
4.2.1. Frecuencia	31
4.2.2. Tipología de los vehículos.....	31
4.2.3. Velocidad de circulación, Aceleración y Desaceleración	31
4.2.4. Superficie de rodamiento	32
4.2.5. Otros elementos de caracterización.....	32
4.2.6. Geometría de la vía y la fuente	33
4.2.7. Flujo de tráfico	34

4.3.	Definición del Modelo de Propagación	35
4.3.1.	Variables de entorno	36
4.4.	Definición de receptores	38
4.5.	Validación. Monitoreo de Ruido.....	38
5.	Resultados y Discusión.....	41
5.1.	Ejecución del modelo.....	41
5.1.1.	Pruebas preliminares.....	41
5.1.2.	Resultados de la modelación	46
5.2.	Monitoreo y Validación	49
5.2.1.	Comprobación de los niveles de emisión	49
5.2.2.	Comprobación de nivel de inmisión	51
6.	Conclusiones.....	52
7.	Bibliografía.....	53
8.	Apéndices.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de potencia sonora para varias fuentes.....	6
Tabla 2 Niveles de presión sonora para varias fuentes	7
Tabla 3 Ponderación A	8
Tabla 4 Coeficiente de atenuación atmosférica α en dB.km ⁻¹	12
Tabla 5 Ecuaciones de cálculo de la atenuación por efecto del suelo.....	14
Tabla 6 Atenuación producida por la vegetación.....	16
Tabla 7 Atenuación producida edificaciones	16
Tabla 8 Nivel de detalle obtenido acorde a la exactitud geométrica de los parámetros de entrada.....	25
Tabla 9 Colores sugeridos en el mapa de ruido (Cataluña)	26
Tabla 10 Colores sugeridos en el mapa de ruido (Estándar previo a 1990).....	26
Tabla 11 Características del equipo utilizado para la medición de ruido	38
Tabla 12 Emisiones de nivel de presión sonora equivalente por fuente analizada	47
Tabla 13 Comparación emisiones obtenidas vs Monitoreo Específico	50
Tabla 14 Monitoreo de Ruido de la Ciudad de Cuenca dB(A)	51
Tabla 15 Resumen de resultados LK _{eq} monitoreo	51
Tabla 16 Resumen de resultados LK _{eq} modelo.....	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y GRÁFICOS

Ilustración 1 Trazo de una onda sinusoidal de un diapasón vibrando	5
Ilustración 2 Vías de propagación entre la fuente F y el receptor R	13
Ilustración 3 Propagación del sonido con barrera.	15
Ilustración 4 Refracción del sonido causado por la temperatura	17
Ilustración 5 Refracción del sonido causada por el viento.	18
Ilustración 6 Metodologías de cálculo de ruido.....	19
Ilustración 7 Esquematización del proceso de elaboración de un mapa de ruido.....	25
Ilustración 8 Diagrama del diseño de la Metodología aplicada.....	28
Ilustración 9 Área de Estudio.	29
Ilustración 10 Grado de Saturación. Área de Estudio	32
Ilustración 11 Traspaso de una fuente lineal a una fuente tipo punto.....	33
Ilustración 12 IMD dentro del área de estudio	35
Ilustración 13 Perfil de propagación del ruido desde una fuente S a un receptor R.....	36
Ilustración 14 Topografía y Alturas de las Construcciones. Área de Estudio	37
Ilustración 15 Flujo de cálculo de $L_{K_{eq}}$ [12]	40
Ilustración 16 Valores de L_{eq} (24h), Calle Tarqui	46
Ilustración 17 Mapa de Ruido.....	48
Ilustración 18 Mapa de Ruido ampliado para la intersección Tarqui y Gran Colombia	49
Gráfico 1 Curvas de contorno, ponderación A.....	9
Gráfico 2 Distribución de la Intensidad Media Diaria de Tráfico.	34
Gráfico 3 Dirección y Velocidad del Viento. Cuenca	37
Gráfico 4 Variación de ruido con diferente ruta de propagación	42
Gráfico 5 Variación de ruido con diferentes condiciones meteorológicas	42
Gráfico 6 Variación de ruido con diferente tipo de suelo.....	43
Gráfico 7 Variación de ruido en el espacio.	44
Gráfico 8 Ejecución simplificada del código [55]	45
Gráfico 9 Ejecución simplificada del código para dos fuentes	45

1. INTRODUCCIÓN

El ruido dentro de las ciudades se ha incrementado en las pasadas décadas, debido especialmente al crecimiento y desarrollo urbano, además del movimiento de la población del sector rural a los centros urbanos, desórdenes en la planificación de la ciudad y usos de suelo, el incremento del parque automotor y el tráfico vehicular han producido la contaminación por ruido y otros problemas ambientales. De allí que la gestión y reducción del ruido ha tomado importancia tanto a nivel local como nacional.

El mapeo y cartografiado del ruido es una importante parte para la investigación del ruido ambiental, principalmente para la cuantificación y visualización de los niveles de contaminación acústica [1]; sobre todo, al estar inherentemente ligado el ruido ambiente como un fenómeno espacial.

La Unión Europea, se ha establecido como líder mundial en términos de políticas y legislación referentes al ruido ambiental [2], base principal de esto es la Directiva 2002/49/CE sobre la evaluación y gestión del ruido [3]. Sin embargo existen numerosos programas de cálculo para ruido, la mayor parte de ellos desarrollados por autoridades nacionales de los Estados Europeos, acorde a su legislación nacional, y otros de importancia desarrollados por la Agencia de Transporte de los Estados Unidos, y en menor escala Japón y Australia [4]–[7]. en este particular es de notar la evolución de IMAGINE/HARMONOISE el cual procede los grupos de investigación EU-6RP y EU-5RP, cuyo objetivo es desarrollar un cálculo unificado del ruido tanto de rieles de trenes, vías de tráfico vehicular, industria, puertos y aeropuertos, usando un mismo módulo de medida, procesamiento y presentación de datos [8]. También es de destacar que el estándar base para el cálculo de ruido en la cual se basa este modelo se encuentra en la ISO 9613-2 Atenuación del sonido durante la propagación en ambientes externos [9].

La Legislación ecuatoriana también refleja esta preocupación de allí que en el Registro Oficial del 12 de noviembre de 1990 se expidió “Reglamento para la Prevención y control de la Contaminación Ambiental originada por la emisión de ruidos” [10] posteriormente en el Registro Oficial del 31 marzo de 2003 se expidió el Texto Unificado de Legislación Secundaria amparados bajo la Ley de Gestión Ambiental y su reglamento, el cual agrupa anteriores reglamentos y regula las actividades y responsabilidades en materia de calidad ambiental, incluyéndose el ruido dentro de ellas, de allí que el Libro VI, Anexo 5 fijaba los Límites Permisibles de Niveles de Ruido Ambiente para Fuentes Fijas y Fuentes Móviles y para vibraciones[11]. Este Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria fue sustituido y posteriormente reformado mediante el Acuerdo Ministerial No 028 publicado en el Registro Oficial del 13 de febrero de 2015 y el Acuerdo Ministerial No 061, publicado en el Registro Oficial del 4 de mayo de 2015 y reformado nuevamente mediante Acuerdo Ministerial No 097-A, publicado en el Registro Oficial del 4 de noviembre de 2015 [12] Dentro de estos se señala que:

“Corresponde a los GAD Municipales con una población mayor o igual a 250 000 habitantes elaborar mapas de ruido ambiental como una herramienta estratégica para la gestión del control de la contaminación acústica y la planificación territorial”

“En la primera etapa de elaboración de mapas de ruido ambiental se detallará solo el ruido de las principales vías”

Sin embargo, menciona que las técnicas y procedimientos serán aprobados por la Autoridad Ambiental Nacional (actualmente el Ministerio de Ambiente) durante un seguimiento que llevaría a cabo durante el plazo de cuatro años, el cual finaliza en el 2019.

En el caso particular del GAD Municipal de Cuenca, ha demostrado que en su gestión y planificación toma en cuenta al ruido como indicador ambiental que debe ser analizado, este hecho se hace más visible cuando mediante la Comisión de Gestión Ambiental se desarrolló en 2010 el proyecto “Determinación del índice de calidad ambiental de la ciudad de Cuenca” en el cual uno de los indicadores fue el de las emisiones de ruido, y desde 2009 hasta la actualidad ha venido realizando la Evaluación de las Emisiones de Ruido en el Área Urbana de Cuenca [13], [14]. Otros estudios respecto a la contaminación acústica se han conducido dentro de la ciudad de Cuenca, por ejemplo en 2011 se desarrolló una línea de investigación base respecto a la influencia del sistema de transporte urbano [15], la misma que se complementó con el análisis de nivel de presión sonora de las actividades cotidianas provenientes del ser humano [16], y a los generados por las aeronaves [17]. Y se ha estudiado el vínculo de las señales acústicas y de ruido de los vehículos motores con las emisiones contaminantes de la atmósfera [18], [19]

Finalmente en 2014 se elaboró el Mapa de Ruido de la ciudad de Cuenca [20], dentro de este estudio se desarrolló la evaluación de las emisiones, el registro de ruido y la comparación de los mismos con la normativa; sin embargo la manera en que se generó el mapa de ruido, utilizando métodos geo-estadísticos como el de Inverso de la Distancia Ponderada y el Kriging ordinario para las estaciones de ruido, que se encontraban dispersas, no se adecúa a lo mencionado en las Directrices Europeas para mapas estratégico de ruido, ni la codificación de los Estados Europeos para la elaboración de mapas de ruido.

En vista de ello, el presente trabajo presenta la elaboración del Mapa Estratégico de Ruido del Centro Histórico de Cuenca, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfico y el Modelo de propagación del ruido HARMONOISE, en base a una propagación punto-a-punto P2P. Para esto el Capítulo 3 presenta las nociones básicas referentes al sonido y ruido, los principios de propagación de ruido con sus ecuaciones base, la predicción de ruido y la elaboración de mapas de ruido; el Capítulo 4 detalla la Metodología seguida tanto para los modelos de predicción, propagación y elaboración del mapa de ruido, como para la validación de datos incluyendo monitoreo; el Capítulo 5 presenta los resultados obtenidos; mientras que en los apéndices A y B se presentan los scripts generados y los resultados de los monitoreos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Generar el Mapa de Ruido producido por el tráfico vehicular, utilizando el indicador L_{eq} obtenido del Centro Histórico de Cuenca, mediante el modelo de propagación HARMONOISE y analizarlo respecto a mediciones históricas reales.

2.2. Objetivos Específicos

Levantar información base de tráfico vehicular, meteorología, topografía y geometría de la zona para la alimentación del modelo, y de las mediciones históricas disponibles.

Validar la información que alimenta el modelo y las mediciones históricas reales del sitio.

Implementar el modelo de propagación HARMONOISE para establecer los valores de ruido en los receptores, mediante la inclusión de la biblioteca P2P, y retroalimentación constante de los resultados parciales (corridas).

Realizar el mapa de ruido, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica

Comparar el mapa de ruido generado mediante el modelamiento respecto a los datos históricos levantados y validados.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Nociones Básicas

3.1.1. El sonido

El sonido se define como una alteración física, o una vibración mecánica, que se propaga en un medio, sea este un gas, un líquido o un sólido, que puede ser percibida por el oído humano. El medio por el cual se propagan las ondas sonoras ha de poseer masa y elasticidad; por lo tanto, las ondas sonoras no se viajarán a través de un vacío [21].

Se denomina transmisión aérea, a la propagación de sonido a través del aire, causadas por las variaciones de presión por encima y por debajo del valor estático de la presión atmosférica. Mientras que se denomina transmisión por estructura a la propagación de las ondas sonoras de una fuente a través de elementos sólidos o líquidos que la soporten o estén en contacto con ella [22].

La velocidad del sonido es la dinámica de propagación de las ondas sonoras. A una temperatura de 20 °C, con 50% de humedad y a nivel del mar, la velocidad del sonido es de aproximadamente 343 m/s [23]. Sin embargo ésta velocidad varía dependiendo de las condiciones del ambiente o del medio a través del cual viajan las ondas sonoras.

3.1.2. Propiedades de las ondas sonoras

Cuando las ondas sonoras tienen la misma dirección de propagación en todos los puntos, se denominan ondas planas; y dado que muchas fuentes sonoras emiten ondas en los que los puntos de máxima compresión forman esferas concéntricas, se denominan entonces ondas esféricas. Sin embargo en los problemas de propagación del sonido en aire libre es más cómodo emplear líneas imaginarias que emanen de la fuente e indiquen la dirección de propagación, a estas se las denomina rayos sonoros [21]

Para fenómenos periódicos como las ondas sonoras se deben definir su frecuencia, es decir el número de veces que se repite el fenómeno a sí mismo en un segundo, habitualmente la frecuencia se designa en hercios (Hz). La frecuencia tiene una relación inversa con el concepto de longitud de onda, siendo esta la distancia perpendicular entre dos frentes de onda que tienen la misma fase [21]. La longitud de onda (λ) está relacionada con la frecuencia (f) y la velocidad del sonido (c), acorde a la Ecuación (3.1)

$$\lambda f = c \quad (3.1)$$

Cuando una onda sonora está compuesta de una frecuencia única, de tipo sinusoidal¹, solamente se denomina tono puro. Esto es importante debido a que se puede

¹ Se denomina onda sinusoidal al trazo obtenido que se puede representar por la función $A \cdot \sin(2\pi f) t$ donde A es la amplitud de la vibración, f su frecuencia en hercios y t el tiempo en segundos

demostrar que todas las ondas sonoras están compuestas de una o más ondas armónicas simples o tonos [21].

Una propiedad del sonido es la difracción del mismo, que se define como el cambio en la dirección de la propagación de las ondas sonoras cuando chocan con un obstáculo, lo que da como resultado que cuando las ondas sonoras chocan contra una barrera 'reboten' y produzcan una sombra acústica hacia el frente [21]

3.1.3. Presión sonora

Considerando la Ilustración 1 donde se observa un diapasón (dispositivo metálico con forma de horquilla) vibrando con una plumilla en el final de una de las púas que señala sobre papel encerado un trazo de una onda sinusoidal que se mueve a través de la plumilla a velocidad constante [24].

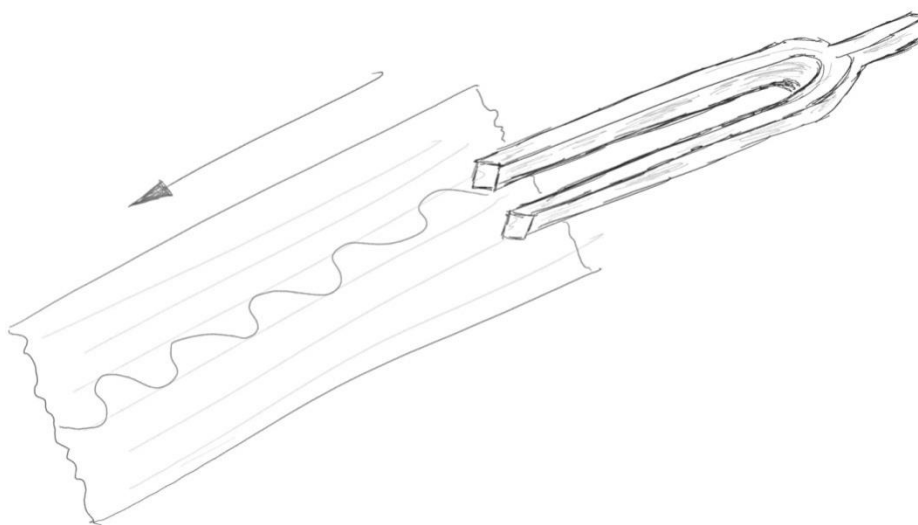


Ilustración 1 Trazo de una onda sinusoidal de un diapasón vibrando

En el punto de observación, antes del paso de las ondas sonoras, la presión es igual a la estática (atmosférica), P . Cuando las ondas pasan por el punto de observación, la presión adicional (sonora), p , debido al paso de éstas se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$P + p_0 \sin(2\pi f)t \quad (3.2)$$

La presión sonora obtenida suele expresarse en micro-pascales μPa . [25]

3.1.4. Potencia sonora

La potencia sonora por otra parte se define como la emisión de la energía acústica de las fuentes de energía a través de una superficie, producto de la presión acústica, p , y el componente de la velocidad de la partícula, en un punto de la superficie en la dirección normal a la superficie, integrado sobre esa superficie la misma [25]. Suele expresarse en vatios, la potencia instantánea, es decir aquella que es emitida en cualquier instante de tiempo fluctúa constantemente, mientras que el valor máximo que esta pueda tomar se denomina potencia máxima, por otra parte la potencia media

suele tener un valor mucho menor que la potencia máxima y depende del intervalo de tiempo a lo largo del cual se calcule la media.

3.1.5. Niveles

Debido a que el rango de presiones sonoras que hallamos en el campo del control de ruido es bastante amplio, se prefiere utilizar el nivel de presión sonora, que es una cantidad proporcional al logaritmo de la presión sonora cuyas unidades se expresan en decibelios, dB.

El nivel de potencia sonora, L_w , de una fuente en decibelios se obtiene mediante la expresión:

$$L_w = 10 \log \frac{P}{P_0} \quad (3.3)$$

Donde P es la potencia en vatios y P_0 es la potencia de referencia en vatios, la referencia habitual es de 1 picovatio, es decir 10^{-12} vatios[26]

La siguiente tabla muestra los niveles de potencia sonora de varias fuentes típicas de sonido, expresado en vatios y en decibeles[27].

Tabla 1 Niveles de potencia sonora para varias fuentes

Fuente	Potencia, vatios (W)	Nivel de potencia sonora, decibeles (dB)
Motor de un cohete	100 000 000	200
	1 000 000	180
Motor de un avión turbo-jet	100 000	170
Hélices de un avión al despegue	1 000	150
	100	140
Ametralladora	10	130
Superación de la barrera de sonido	1	120
Tractor oruga de 150 hp	0.1	110
Vehículo a alta velocidad	0.01	100
	0.001	90
Despertador	0.0001	80
Aspiradora	10^{-5}	70
Secador de cabello	10^{-6}	60
	10^{-7}	50
Refrigerador	10^{-8}	40
Conversación calmado	10^{-9}	30
Susurro de una persona	10^{-10}	20
	10^{-11}	10
Valor de referencia	10^{-12}	0

El nivel de potencia sonora no debe confundirse con el nivel de presión sonora. El primero es una medida de la potencia acústica irradiada por una fuente, es segundo por otra parte, depende no sólo de esta potencia, sino también de la distancia a ésta y de las características acústicas del espacio que los rodean, así el nivel de presión sonora, L_p , se define como:

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad (3.4)$$

Donde p es la presión sonora y p_0 la presión sonora de referencia de 20 micro-pascales (μPa) el cual se aproxima al nivel de presión sonora mínimo que es audible por el oído normal de un adulto joven [26].

La siguiente tabla muestra algunos valores de presión sonora de varias fuentes de ruido y la distancia a la cual se mide [28]

Tabla 2 Niveles de presión sonora para varias fuentes

Fuente de sonido	Distancia	Presión del sonido (Pa)	Nivel de presión Sonora (dB)
Rifle 30-06 disparado	1 m hacia el lado del tirador	7 265	171
Explosión de granada	Ambiente	1,600–8,000	158–172
Motor de jet	1 m	632	150
Grito humana	1 pulgada	110	135
Trompeta	0.5 m	63.2	130
Nivel de riesgo de pérdida de la audición	Al oído	20	120
Motor de jet	100 m	6.32–200	110–140
Apisonadora	1 m	2	100
Tráfico en vía congestionada	10 m	0.2–0.632	80–90
Nivel de riesgo a la audición (por exposición a largo período)	Al oído	0.356	85
Vehículo de pasajeros	10 m	$(2-20) \times 10^{-2}$	60–80
Nivel máximo para riesgo de pérdida de audición, efectos disruptivos en el sueño, aprendizaje, etc.	Ambiente	6.32×10^{-2}	70
TV (en hogares)	1 m	2×10^{-2}	60
Conversación normal	1 m	$(2-20) \times 10^{-3}$	40–60
Cuarto calmado	Ambiente	$(2-6.32) \times 10^{-4}$	20–30
Respiración calmada	Ambiente	6.32×10^{-5}	10
Límite de audición	Al oído	2×10^{-5}	0
Cámara anaecóica (dB)	Ambiente	$1.9 \times 10^{-6} - 6.8 \times 10^{-6}$	-9.4, - 20.36

3.1.6. Intensidad del Sonido

El paso de las ondas sonoras se acompaña de un flujo de energía acústica. La intensidad del sonido, I , en una dirección específica en un punto del campo sonoro es igual al flujo de energía sonora a través de una unidad de área en ese punto, siendo la unidad de área perpendicular a la dirección especificada. Considerando una esfera imaginaria que rodea a la fuente la intensidad del sonido en la dirección radial será:

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W}{4\pi r_0^2} \quad (3.5)$$

Donde I es medido en W/m^2 , W es la potencia acústica y S la superficie de la esfera.

En el campo libre la relación entre intensidad y presión sonora viene dada por:

$$I = \frac{p^2}{\rho c} \quad (3.6)$$

Donde I es la intensidad del sonido, p la presión sonora, ρ (rho) es la densidad del aire y c la velocidad del sonido en el aire para un presión barométrica de 1 atmósfera y una temperatura de 22°C ρc es igual a 406 N.s.m⁻³[21]

3.1.7. Niveles sonoros ponderados

El oído humano no es igualmente sensible a todas las frecuencias, de manera que dos sonidos de origen distinto pero con igual nivel de presión sonora, pueden juzgarse diferentes si la presión sonora de uno está concentrada en una región de frecuencias diferentes, donde el oído es más sensible, a la otra; de forma que el nivel de presión sonora no es una medida de la sonoridad.

Para obtener niveles que mantengan una relación más estrecha con la sonoridad, se utiliza la ponderación en frecuencia de manera que al medir (mediante sonómetros) la sensibilidad del aparato tomará en cuenta aquellas frecuencias a la que el oído es más o menos sensible. La ponderación tipo A es la más usada de las familias de curvas definidas, otras ponderaciones son la B, C, D y recientemente Z. La ponderación A toma en cuenta la sonoridad percibida por el oído humano, lo que implica que es menos sensible a las frecuencias bajas, se utiliza añadiendo valores aritméticos ya listados por octava o tercio de octava, y se lo expresa en decibeles, dB, usualmente los resultados de estos son sumados (mediante el método logarítmico) para proveer un único valor para la ponderación que se expresa en dB(A). Actualmente la ponderación A es también utilizada para la medición de ruido ambiente y ruido industrial, así como para evaluar los efectos en la salud debido a ruido. [29]

Las ponderaciones B y D han sido desusadas y la ISO prefiere el uso de la ponderación A, sus usos anteriores se restringían al campo de la aviación e incluso ya no se definen en estándares como la IEC [29]. La ponderación C es utilizada obligatoriamente para propósitos de diseño y calibración, y a diferencia de la ponderación A toma en mayor consideración las frecuencias bajas. La ponderación Z, definida en 2003 mejora la sensibilidad la ponderación C especialmente en los ruidos picos.

La siguiente tabla muestra la frecuencia de respuesta relativa a un sonómetro con ponderación A frente a sonidos con incidencia de llegada aleatoria, acorde a la ANSI [30], mientras que la figura siguiente muestra los mismos valores según el contorno acorde lo especifica la ISO [31].

Tabla 3 Ponderación A

Frec (Hz)	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
dB(A)	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9
Frec (Hz)	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
dB(A)	-8.6	-6.6	-4.8	-3.2	-1.9	-0.8	0.0	+0.6	+1.0	+1.2
Frec (Hz)	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000			
dB(A)	+1.3	+1.2	+1.0	+0.5	-0.1	-1.1	-2.5			

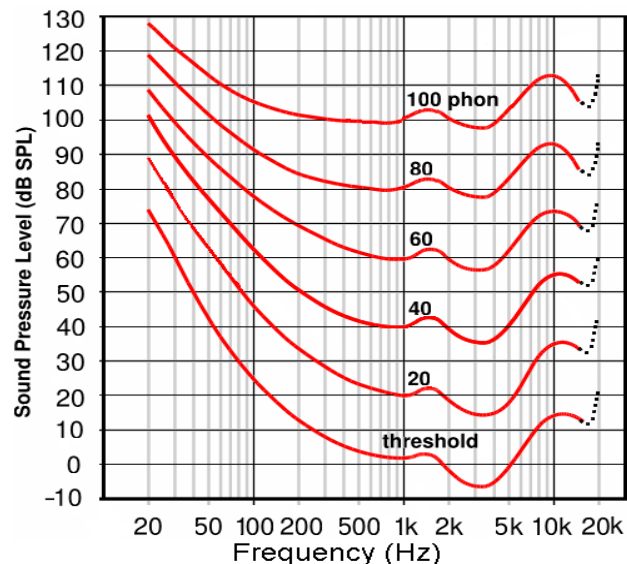


Gráfico 1 Curvas de contorno, ponderación A

La ponderación además puede ser temporal, esto implica la rapidez de la respuesta con respecto a las fluctuaciones del ruido, existen dos tipos de ponderaciones temporales exponenciales, la rápida y la lenta; la respuesta rápida utiliza un tiempo constante de aproximadamente 1/8 de segundo y la repuesta lenta de 1 segundo, para ruidos estables el indicador de medid del nivel sonoro es prácticamente independiente del promedio temporal seleccionado. Otros tipos de respuesta son por Impulso, que mide la respuesta en sonidos de corta duración de 35 milisegundos, y el pico que evalúa el ruido en un período mucho más corto de entre los 50 y 100 microsegundos.[21]

La normativa ecuatoriana especifica que las mediciones para ruido ambiente deben realizarse en las siguientes ponderaciones: A lenta e impulsiva y C lenta.[12]

3.1.8. *Bandas de octava*

Una medida importante del ruido es su distribución en frecuencias. El espectro que más habitualmente mide el rango de frecuencias audibles es en bandas de una octava de anchura, donde una octava es el intervalo de frecuencia entre dos sonidos cuya razón de frecuencia es 2, por ejemplo 1000 Hz y 2000 Hz. Cuando hace falta información más detallada se utilizan bandas de tercio de octavas. Los valores utilizados han sido estandarizados [30]. Los valores de banda de octava se observan en la Tabla 3 y se encuentran en cursiva.

3.2. Propagación del Ruido en exteriores

Al aumentar la distancia entre la fuente generadora de ruido y el receptor, la propagación del sonido al aire libre disminuye. Esta atenuación es afectada principalmente la divergencia geométrica, es decir la atenuación a lo largo del camino de transmisión, mientras que otros son absorción del aire, efecto de vegetación, efecto de topografía del suelo, barreras, reflexiones y difracción en las propias fuentes [32]. En el caso particular de las condiciones atmosféricas que incluyen viento,

temperatura del aire y humedad relativa tienen un efecto importante sobre la propagación del sonido a distancias por encima de los 100 m [33] especialmente al alterar la dirección de la onda, la turbulencia y la viscosidad, respecto a esta última por ejemplo causa un efecto mayor en las frecuencias altas que en las bajas[34]; de manera que la atmósfera al final es un filtro. Finalmente, debido a que la mayor parte de las mediciones se realizan a nivel del suelo (1.5 m) la reflexión y absorción del mismo juegan un papel importante cuando se estudia la transmisión del sonido en exteriores [35]. La atenuación final causada es estimada a través de correcciones aditivas

3.2.1. Normativa de referencia

La norma que especifica el método ingenieril para calcular la atenuación del sonido durante la propagación en exteriores para predecir los niveles de ruido ambiental a una distancia de una variedad de fuentes es la ISO 9613: Acoustics – Attenuation of Sound During Propagation Outdoors, tanto la Parte 1: Calculation of the Absorption of Sound by the Atmosphere [36] como la Parte 2: General method of calculation [9].

El método además predice un promedio de nivel sonora ponderado A como se especifica en las normas ISO 1996: Description, measurement and assessment of environmental noise, Partes 1: Basic quantities and assessment procedures [37] y 2: Determination of environmental noise levels [38] para una amplia variedad de condiciones meteorológicas.

El método especificado en ISO 9613-2 consiste específicamente de algoritmos para las bandas de octava para calcular la atenuación del sonido el cual se origina de una fuente puntual, siendo los términos específicos: divergencia geométrica, absorción atmosférica, efecto del suelo, reflexiones de superficies y apantallamiento por obstáculos, otros términos de atenuación como vegetación, zonas industriales también se especifican en los anexos de la norma.

Para aplicar la norma se requiere el conocimiento previo de factores como la geometría de la fuente, del ambiente, las características de suelo y la potencia de la fuente.

Es importante señalar que en caso de que solo se conoce el nivel promedio para el nivel A, se utiliza la frecuencia de 500 Hz para calcular y estimar las atenuaciones resultantes

3.2.2. Descripción de la fuente

Las ecuaciones para el cálculo de la atenuación que suelen ser usadas son generadas para fuentes puntuales. Para el caso de extensiones de fuentes de ruido, como es el caso de tráfico vehicular o ferroviario o de complejo industrial con varias fuentes de ruido, se representan como un conjunto de secciones donde cada una de ellas tiene un nivel de potencia sonora y dirección de emisión especificada. Por ejemplo para el caso del tráfico vehicular, una fuente de tipo lineal, se subdivide cada línea en diferentes secciones de línea y cada una se representa por una fuente puntual en el centro. (Véase la sección de Metodología Numeral 4.2.6). De igual forma un grupo de

fuentes puntuales pueden ser representadas como una única fuente puntual equivalente situada en el centro.

3.2.3. Ecuaciones básicas

El nivel de presión sonora continuo equivalente por bandas de octava L_{ft} , debe ser calculado para cada fuente puntual y sus fuentes imagen, y por cada banda de octava a partir de la ecuación:

$$L_{ft} = L_w + D_c - A \quad (3.7)$$

Donde: L_w , es el nivel de potencia sonora por cada banda de octava, en decibeles producido por una fuente puntual, D_c es la corrección por directividad, es decir en ciertos casos la fuente puntual desvía el ruido a una única dirección específica, sin embargo para el cálculo usualmente se considera un fuente puntual omnidireccional, es decir radiando en el espacio libre, en cuyo caso $D_c = 0$, y A que se refiere a las atenuaciones por propagación para cada banda de octava.

La atenuación total viene dada por la ecuación:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad (3.8)$$

Donde: A_{div} es la atenuación debido a la divergencia geométrica, A_{atm} la atenuación debido a la absorción atmosférica, A_{gr} la atenuación por efecto del suelo, A_{bar} la atenuación por efecto de barreras (algunos autores [8], [33] prefieren tratar a las barreras como un caso separado y no precisamente como atenuación, sin embargo la presente se basa en la ISO 9613 [9]); y A_{misc} la atenuación por otros efectos similares.

En caso de calcular L_{ft} en largos términos, se añade el parámetro C_{met} , que consiste en una corrección debido a la meteorología general.

En general, es necesario calcularla atenuación de cada banda de octava por separado, a menos que por alguna situación se especifique lo contrario, ya que para cada frecuencia existe una atenuación diferente.

3.2.4. Divergencia geométrica

La divergencia geométrica ocurre para la propagación esférica en el espacio libre desde una fuente sonora puntual, y se relaciona con la distribución de la energía sonora emitida por una fuente puntual en superficies esféricas cada vez mayores, según avanza el frente de onda. Siendo acorde a [9]:

$$A_{div} = 20 \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + 11 \quad (3.9)$$

Donde: d es la distancia en metros desde la fuente al receptor y d_0 la distancia de referencia igual a 1 m

Por otra parte [33] añade un término C , que corresponde a una corrección pequeña en conformidad con la temperatura y la presión atmosférica, la misma que es igual a 0 cuando es 20°C y 1 atm, pero puede ser más representativa para otros valores. Por otra parte la distancia se representa como el radio del círculo con centro la fuente. Por tanto la ecuación es:

$$A_{div} = 20 \log r + 10.9 - C \quad (3.10)$$

3.2.5. Absorción del aire.

A medida que el sonido se propaga a través de la atmósfera, la energía se convierte en calor, esto debido a que el aire no es un medio perfectamente elástico, y durante las sucesivas compresiones y rarefacciones, ocurren varios procesos irreversibles y complejos de absorción sonora, los cuales dependen de la frecuencia (f , en Hz). Esta finalmente está dada por la siguiente ecuación:

$$A_{atm} = \frac{\alpha \cdot d}{1000} \quad (3.11)$$

Donde α es el coeficiente de atenuación atmosférica expresado en dB.km^{-1} para cada frecuencia en banda de octava. Los valores de α son calculados acorde a [36]. Y la siguiente tabla muestra algunos de ellos:

Tabla 4 Coeficiente de atenuación atmosférica α en dB.km^{-1}

Temperatura °C	Humedad relativa %	Frecuencia (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
0	10	1.3	4	9.3	14	17	19
	20	0.61	1.9	6.2	18	35	47
	30	0.47	1.2	3.7	13	36	69
	50	0.41	0.82	2.1	6.8	24	71
	70	0.39	0.76	1.6	4.6	16	56
	90	0.38	0.76	1.5	3.7	12	43
10	10	0.79	2.3	7.5	22	42	57
	20	0.58	1.2	3.3	11	36	92
	30	0.55	1.1	2.3	6.8	24	77
	50	0.49	1.1	1.9	4.3	13	47
	70	0.41	1	1.9	3.7	9.7	33
	90	0.35	1	2	3.5	8.1	26
20	10	0.78	1.6	4.3	14	45	109
	20	0.71	1.4	2.6	6.5	22	74
	30	0.62	1.4	2.5	5	14	49
	50	0.45	1.3	2.7	4.7	9.9	29
	70	0.34	1.1	2.8	5	9	23
	90	0.27	0.97	2.7	5.3	9.1	20
30	10	0.96	1.8	3.4	8.7	29	96
	20	0.73	1.9	3.4	6	15	47
	30	0.54	1.7	3.7	6.2	12	33
	50	0.35	1.3	3.6	7	12	25
	70	0.26	0.9	3.1	7.4	13	23
	90	0.2	0.78	2.7	7.3	14	24

Como se observa a menor temperatura y menor humedad relativa mayor el coeficiente de atenuación.

3.2.6. Efecto del suelo

Cuando las ondas de sonido se ponen en contacto con una superficie, parte de la energía es reflejada, parte es transmitida a través de ella y parte es absorbida. Si la superficie es relativamente plana y dura, la mayor parte de la energía es reflejada, y puede considerarse que la superficie refleja el sonido de la misma manera como un espejo refleja la luz. La Ilustración 2 muestra como el sonido llega desde una fuente F al receptor R a través de dos vías, la primera directa r_d y la segunda mediante reflexión del suelo r_r , el resultado de la interferencia entre el ruido directo y el suelo depende en gran medida de la superficie y del ángulo de rozamiento y la distancia de la longitud del recorrido, además de la frecuencia del sonido.

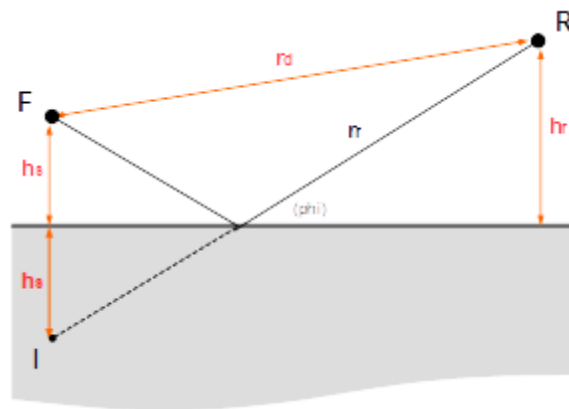


Ilustración 2 Vías de propagación entre la fuente F y el receptor R

La clasificación acorde al tipo de suelo toma importancia en casos de ángulos de rozamiento menores a 20° , lo cual cubre la mayor parte de problemas de propagación y son, y para cada tipo de suelo se asigna un factor G , según [9] los tipos de suelos son:

- Suelo duro, que incluye pavimento, hielo, concreto y otros tipos de superficie que tengan baja porosidad como por ejemplo mezclas en sitios industriales, y se toma $G = 0$
- Suelo poroso, que incluye el suelo cubierto por pasto, árboles y cualquier tipo de vegetación, así como aquellos suelos que puedan ser apropiados para cultivos, en cuyo caso se toma $G = 1$
- Suelo mixto, como los suelos son de diferente tipo y consistencia, entonces G toma un valor entre 0 y 1
- Las precipitaciones pueden afectar la atenuación por efectos del suelo

Debido a que la zona de la fuente, la zona de receptor y la zona media no necesariamente tienen el mismo tipo de suelo, los cálculos deben realizarse acorde al suelo en cada uno de las zonas, siendo las ecuaciones generales, las expresadas en la siguiente tabla:

Tabla 5 Ecuaciones de cálculo de la atenuación por efecto del suelo

Frecuencia Hz	Atenuación en fuente o en receptor	Atenuación en zona media
63	-1.5	-3q
125	-1.5 + G . a'(h)	-3q(1 - G)
250	-1.5 + G . b'(h)	
500	-1.5 + G . c'(h)	
1000	-1.5 + G . d'(h)	
2000	-1.5(1 - G)	
4000	-1.5(1 - G)	

NOTAS:

$a'(h) = 1.5 + 3.0e^{-0.12(h-5)^2}(1 - e^{-d/50}) + 5.7e^{-0.09h^2}(1 - e^{-2.8x10^{-6}.d^2})$

$b'(h) = 1.5 + 8.6e^{-0.09h^2}(1 - e^{-d/50})$

$c'(h) = 1.5 + 14e^{-0.46h^2}(1 - e^{-d/50})$

$d'(h) = 1.5 + 5e^{-0.9h^2}(1 - e^{-d/50})$

Donde h es la altura del receptor o de la fuente que está siendo calculado

Cuando la distancia es menor a 30 veces la altura de la fuente y el receptor, no es necesario hacer los cálculos para la zona media. Por otra parte si la distancia es mayor:

$$q = 1 - \frac{30(h_{fuente} + h_{receptor})}{d}$$

Cuando no se desea especificar un valor exacto de G, se presenta una alternativa para calcular la atenuación por efecto del suelo, siempre y cuando únicamente sea de interés el cálculo de la ponderación A con tonos no puros y la propagación se produce en suelo poroso. Para ello se utiliza:

$$A_{gr} = 4.8 - \left(2 \frac{h_m}{d}\right) \left(17 + \frac{300}{d}\right) \geq 0 \text{ dB} \quad (3.12)$$

Donde h_m es la altura media de propagación en el suelo y d la distancia de la fuente al receptor. Sin embargo el factor C de la ecuación (3.10) debe ser calculado siendo:

$$C = 10 \log \left\{ \frac{1 + [d_p^2 + (h_f - h_r)^2]}{d_p^2 + (h_f + h_r)^2} \right\} \quad (3.13)$$

Donde h_f es la altura de la fuente, h_r la altura del receptor, y d_p la distancia total

3.2.7. Barreras/Apantallamiento.

Las barreras son usadas para la atenuación del ruido en varias situaciones, por ejemplo del tráfico vehicular, maquinaria de construcción o maquinaria asociada a complejos industriales. La presencia de una barrera, crea un apantallamiento que bloquea la línea recta entre fuente y receptor, causando atenuación por difracción en el borde superior. Para considerar un objeto como barrera es necesario que su densidad superficial sea de al menos 10 kg.m^{-2} , que el objeto tenga una superficie cerrada sin grandes grietas o huecos, y que la dimensión horizontal del objeto normal entre la línea fuente y receptor sea mayor que la longitud de onda λ en la frecuencia estudiada.

La difracción por tanto se puede dar tanto por encima del borde vertical de la barrera como por los bordes laterales como se muestra en la siguiente ilustración.

En el caso de la difracción lateral la ecuación a usar es:

$$A_{bar} = D_z - A_{grd} \quad (3.14)$$

Y para el caso de la difracción vertical $A_{bar} = D_z$

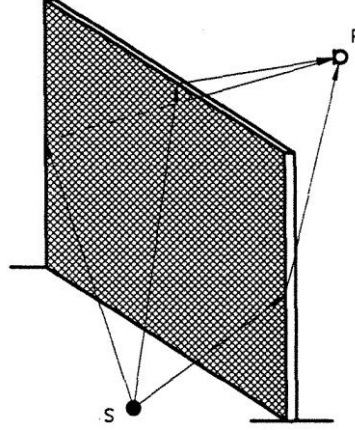


Ilustración 3 Propagación del sonido con barrera.

De allí que según[9] la atenuación por barrera (A_{bar}) está dada por el valor de D_z en cada banda de octava:

$$D_z = 10 \log \left[3 + \left(\frac{C_2}{\lambda} \right) \cdot C_3 \cdot z \cdot K_{met} \right] \quad (3.15)$$

Donde:

C_2 es igual a 20 e incluye el efecto de reflexiones del suelo, y para el caso en que las reflexiones se tomen en cuenta a parte $C_2 = 40$,

C_3 es igual a 1 para una difracción simple (es decir una sola barrera) y para el caso de doble difracción (doble barrera) se utiliza la ecuación:

$$C_3 = \frac{1 + \left(\frac{5\lambda}{e} \right)^2}{\frac{1}{3} + \left(\frac{5\lambda}{e} \right)^2} \quad (3.16)$$

λ es la longitud de onda del sonido en la frecuencia de banda de octava (en metros)

z es la diferencia entre el sonido directo y el difractado calculados según las siguientes ecuaciones, para difracción simple y doble respectivamente:

$$z = [(d_{ss} + d_{sr})^2 + a^2] - d \quad (1 \text{ difracción}) \quad (3.17)$$

$$z = [(d_{ss} + d_{sr} + e)^2 + a^2] - d \quad (2 \text{ difracciones})$$

Donde d_{ss} es la distancia desde la fuente hasta el borde de la primera difracción, d_{sr} es la distancia de la segunda difracción hasta el receptor, a es el distancia o anchura de la barrera.

e es la distancia entre los dos bordes de difracción, y

K_{met} es un factor de corrección por afección de la meteorología en la barrera, que se calcula como:

$$K_{met} = \exp \left[- \left(1/2000 \right) \sqrt{d_{ss} \cdot d_{sr} \cdot d / 2 \cdot z} \right] \quad (3.18)$$

3.2.8. Otros tipos de atenuación

Entre los efectos misceláneos A_{misc} se encuentran la atenuación debida a la reflexión de las paredes de los edificios o de superficies verticales próximas, la de la vegetación cuando la propagación es a través de esta, la de edificios y viviendas cuando se propaga entre zonas edificadas

La reflexión se calcula siguiendo el mismo procedimiento seguido para A_{grn} descrito anteriormente, únicamente el plano en el cual se trabaja es diferente. Debido a que la superficie suele ser acústicamente dura, se toma en consideración un suelo duro. Algo a notar es que la reflexión en sí no atenúa si no aumenta el nivel de ruido en el receptor por lo que el signo será negativo.

A lo contrario que pudiera pensarse los árboles y arbustos no son buenas barreras contra el ruido, ya que como pantalla aportan muy poca atenuación, aunque por el hecho de mantener el suelo poroso sus raíces si aportan cierta atenuación por el efecto suelo [33]. Por lo tanto su cálculo está inherente a A_{grn} . Sin embargo si la vegetación es lo suficientemente densa como para obstruir totalmente la visión sin que existan ramas desnudas o troncos de árboles que dejen espacio, se puede decir que existe cierta atenuación adicional. La tabla siguiente muestra os valores para cada banda de octava por metro de anchura de vegetación densa

Tabla 6 Atenuación producida por la vegetación

	Frecuencia (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
A_{veget} dB/m	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08

Referente a la atenuación por zonas edificadas, esta depende de la densidad de las edificaciones, y modificará los datos para la atenuación del suelo y por la reflexión. Para este caso en particular se debe analizar el caso individualmente ya que las desviaciones pueden estar en el orden de los 10 dB. La siguiente tabla muestra los valores de atenuación al pasar por complejos de edificaciones con densidad industrial.

Tabla 7 Atenuación producida edificaciones

	Frecuencia (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
A_{site} dB/m	0.015	0.025	0.025	0.02	0.02	0.015

En el caso particular del tráfico vehicular se produce otro tipo de atenuación, y es la atenuación por divergencia, ya que se considera que la fuente puntual se mueve pasando de una posición determinada a otra con una velocidad v . Asumiendo una ponderación A, el nivel de ruido L_A varía con el tiempo oscilando entre 6 decibeles

3.2.9. Efectos particulares del viento y la temperatura

La propagación del sonido cerca del suelo en distancias horizontales cortas (menores a 100m) es a efectos prácticos independiente de las condiciones atmosféricas, ya que la atmósfera se puede considerar como homogénea y la propagación como línea recta. Sin embargo a distancias mayores esto no es así, de manera que a más del efecto de atenuación debido a la absorción del aire antes descrita, se debe sumar el efecto de refracción, es decir un cambio de dirección de las ondas sonoras producidas por los gradientes verticales de viento y de temperatura [33]

En una atmósfera normal, la temperatura por sí misma decrece con la altura. El resultado es que, en ausencia del viento, las ondas del sonido cambian de dirección a partir del suelo, formándose una zona de sombra. Sin embargo, algunas veces se da el fenómeno de inversión térmica, es decir el gradiente de temperatura cerca del suelo es positivo, por lo que la temperatura se incrementa con la altura, y conduce a efectos totalmente opuestos al anterior [39]. Los efectos de refracción para disminución o aumento de temperatura con la altura se observan en la siguiente ilustración.

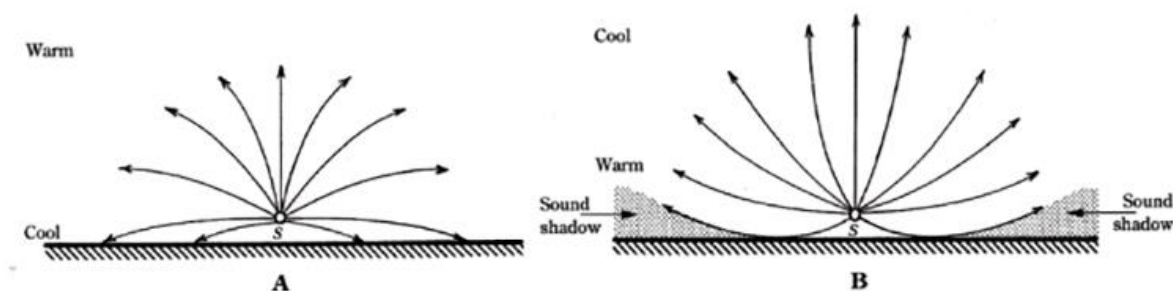


Ilustración 4 Refracción del sonido causado por la temperatura

La velocidad del viento también es otro parámetro importante a tomar en cuenta tanto en grandes como en pequeñas distancias; ya que el aire es viscoso, la velocidad del viento a nivel del suelo es cero, pero a medida que aumenta la altura la velocidad del viento también se incrementa hasta que la masa principal de aire es alcanzada. Esta región de variación de la velocidad del viento puede ser de muchos cientos de metros de espesor y afecta las mediciones de la mayor parte de las fuentes de ruido. De allí que la normativa para la relación de mediciones indique que las mismas deben realizarse con viento a favor [12] La siguiente ilustración muestra que a favor del viento el efecto de refracción hace girar las ondas de sonido hacia el piso y el nivel de sonido se incrementa comparado con la situación de efectos sin refracción. En contra del viento el efecto de refracción es opuesto, formándose una región de sombra provocando una disminución del nivel sonoro [35]

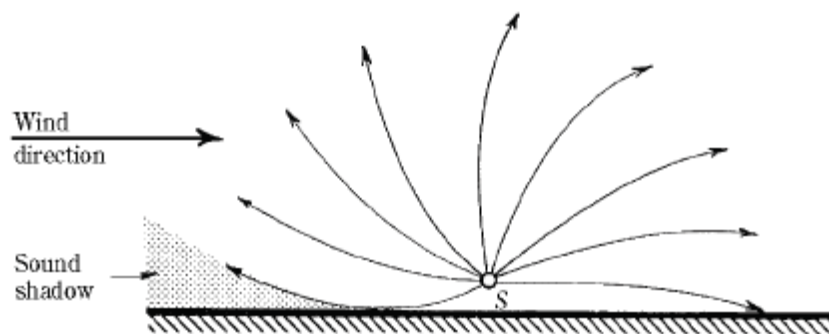


Ilustración 5 Refracción del sonido causada por el viento.

3.3. Predicción del nivel sonoro.

La predicción de los niveles de presión sonora en el ambiente requiere de un análisis acabado; lo cual implica que el uso de los modelos de predicción sonora o métodos de cálculo son cada vez más comunes y se sobreponen como alternativa a la medición in-situ tanto en el planteamiento de la emisión como en la incidencia del ruido en situaciones imaginarias o reales [40].

En el caso particular de las mediciones de ruido ambiental, para obtener una malla de datos lo suficientemente densa deberían realizarse en varias posiciones de receptor lo cual es costoso y demanda tiempo considerable especialmente debido a la variabilidad de las condiciones meteorológicas². Por otra parte, el método de cálculo o método de ingeniería es un procedimiento común en muchos países y se basa en algoritmos estandarizados, cada uno de los cuales son aceptados en el ámbito de cada país o han sido elaborados por instituciones especificadas para cada campo. En ocasiones el método de ingeniería puede ser el único método aplicable, situaciones como alta fluctuación del ruido de fondo, la necesidad de predecir niveles futuros, comparación entre escenarios de desarrollo o reducción de ruido, para los mapas de ruido, o acceso limitado a las posiciones de medición.

Existen varios procedimientos para predecir los niveles de presión sonora que utilizan como información base la potencia acústica de las fuentes emisora y las atenuaciones a las que está sujeta el frente de onda (descritas en el numeral anterior).

3.3.1. Métodos de cálculo

La tarea básica a realizar al predecir el nivel sonoro es la definición del indicador en el cual se basa el cálculo, así L_{den} (Nivel de presión sonora equivalente día tarde noche) o L_{night} (Nivel de presión sonora equivalente en la noche) son los más utilizados y que se definen en el escenario de ruido ambiental. En algunos casos, es interesante el uso de un método basado en L_{eq} , [dBA] (niveles equivalentes de presión sonora con ponderación A) en banda ancha o por bandas de frecuencia dominante.

² En Ecuador el costo por punto de monitoreo de ruido ambiental realizado por un laboratorio acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano SAE y cumpliendo con la normativa [12] ronda los 75.0 USD

En el cálculo de la propagación del sonido se distinguen dos tipo de modelos: los basados en métodos científicos y los basados en métodos de ingeniería, sin querer decir con eso que los modelos de ingeniería no son científicos, sino que se los distinguen por el hecho de estar o no estandarizados. La siguiente ilustración muestra las diferentes metodologías de cálculo [41].

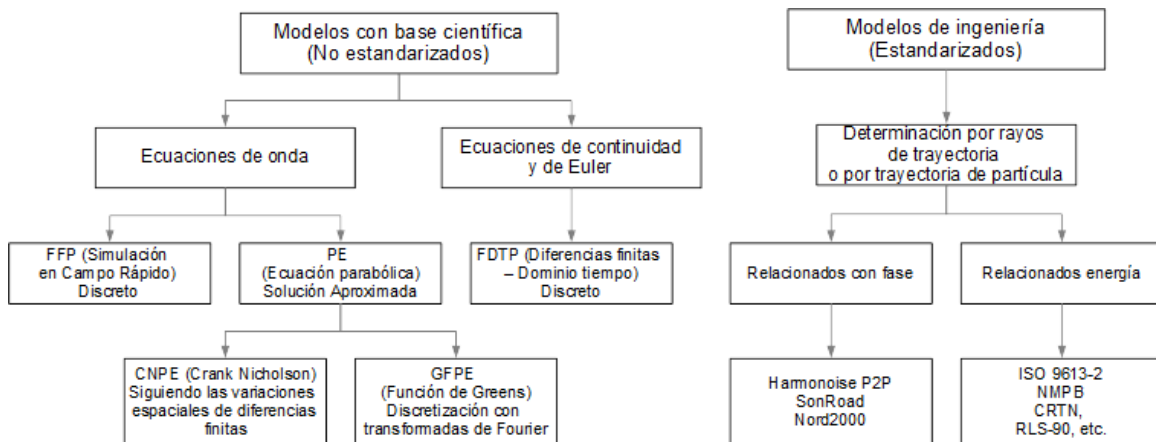


Ilustración 6 Metodologías de cálculo de ruido

Los modelos con base científica son herramientas desarrolladas por expertos con cierto conocimiento de los principios subyacentes necesarios para aplicarlos correctamente en el campo del sonido. Estos métodos no pueden ser usados para proyectos de mapeo ni a larga escala ni en situaciones con estructuras complejas como aglomeraciones; más bien su uso se restringe a escenarios simples y pequeños, ya los requerimientos de memoria y de tiempo de cálculo son altos, por lo que excederían fácilmente la capacidad en cualquier intento de llevar estos casos a ambientes cercanos a los reales.

Por contraparte los modelos de ingeniería, están basados y descritos detalladamente en estándares, lo que implica que son diseñados para asegurar la máxima precisión, es decir a varias repeticiones realizadas por varias personas se llegan a resultados idénticos, lo que lleva a que puedan ser implementados en programas informáticos (software) y puedan ser utilizadas por personas no necesariamente expertas en el campo de la acústica. De allí que son estos métodos los que han sido adoptados por diversos países para controlar los niveles de ruido e incorporarlos a su legislación. Debido a que su estructura es relativamente simple y transparente se los llega a aplicar en escenarios grandes y en proyectos de mapeo de ruido. [41]

Los límites entre los dos tipos de modelos no están firmemente definidos y dados los avances en el rendimiento del hardware y las técnicas en el software ciertos elementos de los modelos con base científica pueden ser acoplados e insertados en los modelos de ingeniería.

Hay destacar, sin embargo, que modelos estandarizados no siempre pueden reflejar todos los detalles del ambiente y del estado del arte desarrollado respecto a los cálculos de las emisiones y sonido; tómese como ejemplo la ISO 9613 [9], [36] cuya

elaboración data de 1996, y si bien ha sido revisada cada 5 años no se han realizado aumentos ni se han integrado nuevas parametrizaciones, hasta su última revisión en 2017. Por otra parte la ISO 1996 [37], [38] si ha sido actualizada revisada y añadidas ciertas enmiendas, esta fue lanzada como estándar en 1982, la parte 1 y en 1987 la parte 2 y sufrieron la primera actualización en 2003 y 2007 respectivamente, versiones que fueron utilizadas en el presente trabajo, sin embargo sufrieron una nueva actualización en 2016 y 2017 respectivamente. De manera que se observa que el estado del arte del ruido puede como no influir estos modelos estandarizados, ya que no siempre pueden estar de actualización en actualización, ya que no vale la pena en la planificación de proyectos a largo plazo en el tiempo. Pero sin duda ayudan con la trazabilidad de la información y comparación de los resultados obtenidos.

En lo que se refiere a los algoritmos de cálculo utilizados, estos se basan en modelos estandarizados o de ingeniería, donde justamente por su naturaleza, los diferentes sub-modelos y softwares en general no generan mayor diferencia, ya que todos se basan en las ecuaciones (3.7) y (3.8) que fueron descritas anteriormente.

3.3.2. Modelos de predicción y propagación

Un aspecto a aclarar que los modelos de predicción están divididos normalmente en dos partes:

- Modelos de predicción de la fuente sonora, que describe el nivel de emisión o valor de referencia
- Modelos de propagación, que calcula la atenuación producido por todos los mecanismos físicos entre la fuente y el receptor

Y en estos casos ciertos modelos son especializados para casos particulares de modo que reducen al mínimo la incertidumbre para estos [40]. De igual manera un modelo puede integrar las dos partes, como también solo centrarse en una de ellas.

Para la evaluación del ruido y la elaboración de mapas de ruido podemos separar el análisis acorde al tipo de fuente analizada, siendo: tráfico vehicular, ruido por trenes, ruido industrial y ruido aeroportuario, diferentes modelos se han desarrollado. Algunos de ellos cubren tanto la predicción como la propagación, mientras que otros únicamente uno de ellos.

Existen varios modelos de cálculo de simulación del nivel de ruido procedentes del tráfico vehicular, los primeros modelos fueron desarrollados en la década de los 50 y 60 y predecían el nivel de presión sonora (L_p) de un único vehículo en función de la velocidad y aceleración; modelos posteriores incluyen el factor temporal buscando predecir nivel de presión sonora continua equivalente (L_{eq}) bajo condiciones de tráfico, al mismo tiempo que se generalizaba el factor de ponderación A [42].

Para el cálculo de la propagación del ruido producido en las vías por el tráfico vehicular, se han adoptado métodos como el francés NMPB-Roads-96 [43] en combinación con los factores de emisión de la *Guide du Bruit* [44], siendo el segundo el adoptado como método provisional por la Unión Europea [3], posteriormente el modelo NMPB fue actualizado, obteniendo el modelo conocido como NMPB2008, el modelo toma en cuenta tanto la predicción de la fuente sonora donde se incluyen

categorías de vehículos, la velocidad de circulación, el tipo de superficie de la vía [45], y la propagación donde se incluyen las atenuaciones supra-mencionadas [46]. El cambio más importante entre los dos métodos fue la descripción de tipo de superficie de la vía. Sin embargo, la Comisión de Trabajo de la Unión Europea CNOSSOS-EU prefirió como candidato a los modelos basados en HARMONOISE-IMAGE[8], el cual tiene como media con un 95% de confianza una desviación de -1 dB(A) con una desviación estándar de 3.7dB (A) comparada con el NMPB2008 que posee media de -0.2 dB(A) y desviación estándar de 2 dB(A) respecto a cuantiles gaussianos de medición y predicción de los dos métodos. La diferencia entre los métodos se debe principalmente a la inclusión de aspectos meteorológicos y de absorción del suelo; sin embargo los dos modelos son los preferidos para la aplicación de mapas estratégicos de ruido y planes de acción.

Entre los modelos desarrollados están el FHWA-TNM (Federal Highway Administration – Traffic Noise Model) de los Estados Unidos cuya versión vigente es la 2.5 y ya ha empezado la implementación de la versión 3.0 [47] TNM computa el ruido producido por el tráfico en viaductos y autopistas, y es utilizado principalmente para evaluar la eficiencia de las barreras de ruido que se requieran instalar, dentro de los datos para la predicción de la fuente sonora toma en cuenta tanto las características de los vehículos, el tipo de pavimento, y una característica añadida que son los sistemas de control de tráfico como rampas o señales de pare, en el caso de la propagación utiliza las atenuaciones descritas anteriormente. Otro modelo básico es el utilizar la norma internacional ISO 9613-2 [9] sin embargo esta no posee un software específico desarrollado para su implementación. Finalmente también el modelo Nord2000 desarrollado por los países nórdicos [48], el cual es usado en la región de igual forma toma en cuenta la fuente y la propagación, sumándose condiciones del clima en su cálculo, el modelo nórdico fue el modelo base para el desarrollo del modelo de ingeniería HARMONOISE, y los hallazgos conjuntos retroalimentan los dos modelos, así como los métodos de validación de ambos.

En el caso el ruido producido por diferentes tipos de ferrocarriles son varios los modelos más utilizados, en Europa predomina el uso de tres[5]: 1) el método estandarizado holandés [49] cuyas versiones 1996 y 2007 contienen detalles específicos para el cálculo de la predicción de la fuente sonora, pero por contraparte simplifica el cálculo de la propagación y las atenuaciones por lo que no son tratadas con detalle, 2) el modelo HARMONOISE [8] que calcula sin distinción de la fuente, y posee el mismo método de cálculo para la propagación en todas ellas, para el caso de la predicción del ruido por ferrocarriles restringe el cálculo a 5 escenarios de altura, 5 tipos de condiciones de operación y 5 fuentes de ruido, lo cual sin embargo es suficiente para evaluar la propagación y 3) El método sonRail suizo[50], que está basado en el modelo HARMONOISE pero desarrollado con el estado de arte más actualizado, incluye por ejemplo la corrección del ruido en caso de curvas en las rieles y una propagación más sofisticada para la reflexión en árboles o colinas. Otros métodos conocidos son el japonés Narrow-Gauge basado en ASJ RTN-Model 2008 el modelo de predicción japonés para tráfico vehicular [51], y la metodología de la US-FTA (Administración Federal de Tránsito de los Estados Unidos) [52] la cual ofrece una mayor flexibilidad al ser una versión simplista del modelo de propagación propuesto por la ISO 9613, lo cual reduce el tiempo de computación

significativamente, aunque al mismo tiempo posee limitaciones en cuestión de indicadores a usar por ejemplo no permite el cálculo del nivel de presión sonora máximo L_{max} .

Para el caso del ruido industrial la balanza está inclinada a favor del modelo de predicción y propagación IMAGINE/HARMONOISE dado que recolecta los datos de gran parte de los organismos de control europeos como el CSTB y EDF de Francia, el deBAKOM y Muller-BBM de Alemania, el DGMR de los Países Bajos, Kilde de Noruega, y muchos otros organismos de los países miembros de la Unión Europea [6], [53] y al mismo tiempo integra bases de datos propias como adicionales, entre ellas el SourceDB desarrollado por la DGMR. El modelo IMAGINE ha hecho un esfuerzo considerable por convertirse en el estándar a aplicar según la normativa europea [3] a más de este modelo el estándar ISO 9613-2 [9] es usado como modelo de propagación conjuntamente con bases de datos de ruido abiertas o pagadas o con las especificaciones de ruido de la maquinaria en los catálogos industriales.

En lo referente al ruido vinculado a la aviación, esta ha sido una preocupación que data de hace bastante tiempo, puesto que los primeros intentos de cálculo referente al ruido de aeronaves datan de finales de 1960, incluso sin la ayuda de computadoras, donde los cálculos se producían directamente en niveles de inmisión con ponderación A, y en condiciones de propagación estándar [7] por ello existen numerosos programas para el cálculo, la mayoría desarrollados por petición de las autoridades nacionales que manejan el tema correspondiente al ruido vinculado a la aviación. La mayoría de programas poco a poco se han venido descontinuuando en favor del programa³ INM 7.0 desarrollado por la US-FAA (Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos) [54], este modelo ha tenido una larga tradición en su uso ya que posee un paquete listo para usar y es ofertado con licencia bajo pago, y el código de programación es cerrado aunque se basa en sus propios estándares SAE-A21, a pesar de ello en los Estados Unidos se utiliza una actualización del INM 7.0 denominado AEDT 2d (Aviation Environmental Design Tool) [55] cuya versión principal también requiere licencia de pago y fue lanzado en 2017, sin embargo propone muchas más condiciones para la simulación como por ejemplo emisiones de combustible y emisiones no solo de ruido sino de contaminantes del aire vinculándolo con otros programas elaborados por la US-EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) como MOVES. Otros programas que han sido desarrollados incluyen DOC.29 y AzB. DOC.29 [56] fue elaborado por la Conferencia Europea de Aviación Civil y mantenida por EUROCONTROL, la misma que con la última actualización ha sido vinculada a INM 7.0 como base de datos, por otra parte AzB (acrónimo en alemán para instrucciones para calcular las áreas de protección contra el ruido) [57] también contiene una base de datos por banda de octava y se vincula con un modelo de propagación simplificado que calcula a 4m de altura en una grilla de 50 x 50m, este modelo se basa en los escenarios y estándares alemanes. Sin embargo debido a la complejidad para la modelación se incluyen muchos más parámetros que los especificados en el presente trabajo.

³ Se define como programa no al software desarrollado, sino un programa es un documento que describe la metodología de cálculo e incluye una base de datos. Aunque en la mayor parte de casos estos se vinculan a una interfaz gráfica (software)

3.4. Mapas de Ruido

Un mapa de ruido es la expresión gráfica de la situación sonora de un territorio en un momento dado. Los mapas se pueden definir a partir de mediciones de ruido sobre el terreno o en base a la aplicación de cálculos teóricos (método de ingeniería) para cada una de las variables identificadas para el terreno específico. Muchas veces se combinan varias técnicas, prefiriendo la medición o simulación para una hora.

La representación se realiza de manera similar a un mapa topográfico en donde las curvas de nivel, son más bien curvas isófonas que representan los niveles de ruido, pudiendo los niveles internos ser representados en escalas de colores, o se puede acotar puntos específicos, acorde a las necesidades del mapa.

La idea de realizar un mapa de ruido es evaluar rápidamente la situación sonora de un territorio y presentar los resultados de manera que facilite su interpretación [22]

3.4.1. Base legal de los Mapas de Ruido

La normativa ecuatoriana especificada en el Anexo 5 del Libro VI del Texto Unificado del Legislación Ambiental del Ministerio de Ambiente, especifica respecto a los mapas de ruido que serán los Gobiernos Autónomos Descentralizados con una población mayor o igual a 250 000 habitantes quienes elaborarán los mapas de ruido como una herramienta estratégica para la gestión del control de la contaminación acústica y la planificación territorial (Art. 7.1), especificándose que en una primera etapa se centraría en el ruido de las principales vías donde se generan altos niveles de ruido debido a vehículos automotores (Art 7.3), concentrándose en las zonas donde el ruido tenga o pueda tener una afectación negativa en los sitios considerados como críticos (Art. 7.5). La reglamentación no especifica las técnicas y procedimientos específicos, únicamente señala que éstos deben ser apropiadas y deben contar con el seguimiento de la Autoridad Ambiental (Art. 7.6) finalmente señala la presentación de resultados de los resultados obtenidos (Art. 7.7), la cual se especifica en acápites posteriores [12]

Por otra parte la Directiva del Parlamento Europeo sobre la evaluación y gestión del ruido (abreviada como END) señala más consideraciones mínimas respecto a los mapas de ruido, denominados según la END en su Anexo IV [3]. Allí se define que:

Un mapa estratégico de ruido es la representación de los datos relativos a alguno de los aspectos siguientes: situación acústica existente, anterior o prevista expresada en función de un indicador de ruido, rebasamiento de un valor límite, número estimado de viviendas, colegios y hospitales en una zona dada que están expuestos a valores específicos de un indicador de ruido, número estimado de personas situadas en una zona expuesta al ruido.

Los mapas estratégicos de ruido pueden presentarse al público en forma de: gráficos, datos numéricos en cuadros, datos numéricos en formato electrónico.

Los mapas estratégicos de ruido para aglomeraciones harán especial hincapié en el ruido procedente de: el tráfico rodado, el tráfico ferroviario, los aeropuertos, lugares de actividad industrial, incluidos los puertos.

El cartografiado estratégico del ruido servirá de base para los datos que deben enviarse a la Comisión, fuente de información destinada al público, fundamento de los planes de acción. Siendo que a cada una de estas funciones corresponde un tipo distinto de mapa estratégico de ruido.

Acorde a las necesidades, puede ser necesario elaborar otro tipo de mapas como: mapas que indiquen los rebasamientos de un valor límite, mapas de diferencias que comparen la situación vigente con posibles situaciones futuras, mapas que presenten el valor de un indicador de ruido a una altura de evaluación distinta de 4 m, en caso necesario.

Se elaborarán mapas estratégicos de ruido de aplicación local o nacional correspondientes a una altura de evaluación de 4 m y a rangos de valores de L_{den} y L_{night} de 5 dB.

Con respecto a las aglomeraciones urbanas, se elaborarán mapas estratégicos especiales sobre el ruido del tráfico rodado, del tráfico ferroviario, del tráfico aéreo y de la industria. Pueden elaborarse también mapas sobre otras fuentes.

Además el Anexo VI, toma en consideración aspectos específicos para los grandes ejes viarios, ferroviarios, aeropuertos e industrias, nuevamente especificando las características de los mapas, donde debe ser incluido el número total estimado de personas afectadas.

3.4.2. Preparación.

Es evidente que la calidad final de los resultados dependerá de la calidad de los datos y de los métodos usados en cada uno de los pasos en el proceso de mapeo del ruido. Para aumentar la calidad del mismo, el nivel de detalle de todo el proceso debe ser adaptado según el propósito perseguido, lo cual significa encontrar un balance entre ambos. Además de ello la incertidumbre respecto a los datos juega un papel importante.

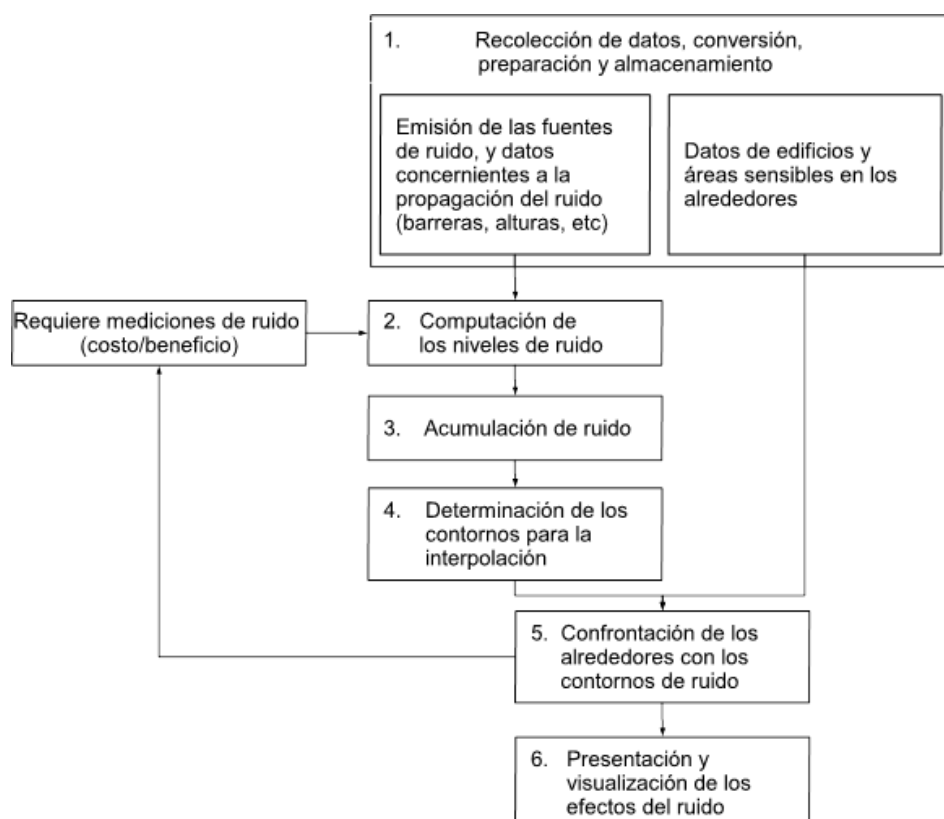
Sin duda el contar con datos de campo para contrastar los resultados del mapeo son necesarios. Sin embargo diferentes estudios no llegan a una decisión estandarizada para el criterio a seguir y ni analizar el costo/beneficio de las mismas [1]

3.4.3. Procedimiento

En busca de una estandarización del proceso de mapeo, [1] cita 6 pasos básicos para el mismo, los cuales están en relación a otros estudios de mapeo incluyendo [22], [58]–[62]:

- Recolección de datos en bruto, preparación, almacenamiento y consulta.
- Computación de los niveles de ruido en modelos computacionales
- Acumulación de los niveles de ruido (cuando son de diferentes fuentes)
- Determinación de los contornos de ruido
- Determinación de los efectos del ruido, y
- Presentación del impacto referente al ruido.

El mapa de proceso se presenta en la siguiente figura:



El estudio de los efectos del ruido requiere una base de datos espacial central que incluya información que pueda ser procesada en mapas (Sistemas de Información Geográfica), dentro de los cuales se pueden distinguir aquellos que sean necesarios para la computación de los niveles de ruido como por ejemplo, las fuentes de emisión, los aspectos que influyan en la propagación y la topografía de la zona, y por otro lado se requiere la localización de la gente, animales y actividades para comprender y analizar la sensibilidad de las mismas. Los efectos del ruido se determinan combinando estos dos tipos de datos

Tabla 8 Nivel de detalle obtenido acorde a la exactitud geométrica de los parámetros de entrada

Una vez que los datos hayan sido procesados, especialmente en una colección de Sistema de Información Geográfica, todavía estos no pueden ser adecuados para todos los casos, de allí que sea necesario estandarizarlos, definirlos, escalarlos y formatearlos. Por lo que el trabajo de campo todavía es necesario.

Lista la información la computación de los niveles de ruido inicia, la modelación tiene sus ventajas por sobre la medición en campo de los niveles de ruido. En primer lugar, situaciones futuras pueden ser modeladas no medidas, además en algunos estudios las mediciones son prácticamente imposibles por la cantidad de puntos necesarios para obtener una imagen general de la situación del ruido, y finalmente la seguridad y toma de datos no necesariamente es mejor y de todas maneras está expuesta a errores.

Los métodos de cálculo y su integración con los datos obtenidos se describen en el numeral 3.2 Propagación del Ruido en exteriores






Un factor importante en el estudio de los niveles de ruido es que los efectos del mismos no suelen estar ligados a una única fuente, si no a varias; de allí que es necesario evidenciar la influencia de cada una de ellas o de alguna nueva que se incluya en el futuro, por ello el cálculo de la acumulación de ruido es necesaria. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que la molestia percibida del ruido puede no solo deberse al nivel de ruido como tal, sino a otros factores tales como los sociales, psicológicos o de naturaleza económica, por ejemplo el ruido de los aeropuertos tiende a ser molestar más que el ruido producido por trenes o tranvías, incluso cuando el nivel de ruido es el mismo [63], [64].







En lo que concierne a los contornos de los niveles de ruido o isófonas de las mediciones o cálculos resultantes se agrupan en niveles de 5 en 5 decibeles (dBA)[3], [12], [22], [61] y aunque no existe una norma específica cada grupo se lo representa con un color o trama de color correspondiente, procurando que los colores no perjudiquen la lectura del mapa [22] sugiere lo siguiente:

Tabla 9 Colores sugeridos en el mapa de ruido (Cataluña)

Nivel de ruido, dBA	Gama de colores
55 a 60	Verde Claro
60 a 65	Amarillo
65 a 70	Naranja
70 a 75	Rojo
75 a 80	Azul medio
80 a 85	Negro

Tabla 10 Colores sugeridos en el mapa de ruido (Estándar previo a 1990)

Nivel de ruido	Color	Tramado	
< 35	Verde	Puntos pequeños, densidad baja	
35 a 40	Verde	Puntos medianos, densidad media	
40 a 45	Verde oscuro	Puntos gruesos, densidad alta	
45 a 50	Amarillo	Líneas verticales, densidad baja	
50 a 55	Ocre	Líneas verticales, densidad media	

Nivel de ruido	Color	Tramado	
55 a 60	Naranja	Líneas verticales, densidad alta	
60 a 65	Rojo (bermellón)	Retícula cuadrada, densidad baja	
65 a 70	Rojo carmín	Retícula cuadrada, densidad media	
70 a 75	Lila	Retícula cuadrada, densidad alta	
75 a 80	Azul	Bandas amplias verticales	
80 a 85	Azul oscuro	Completamente.	

Para determinar el tiempo de cálculo se requiere hacer una malla de puntos que concuerde con las funcionalidades del Sistema de Información Geográfica utilizado, en un estudio piloto del Ministerio de Vivienda, Planeamiento y Ambiente de los Países Bajos –VROM- se determinó que al menos el 90% del tiempo de computación de los cálculos puede ser fácilmente ahorrado eligiendo correctamente la densidad de los puntos a usar para elaborar la red de triangulación irregular (TIN) [1], usualmente los modelos son elaborados en 2.5 dimensiones, es decir el modelo es continuo para una altura z dada y se añaden puntos de control en los ejes x y y, tomando en cuenta que todas las barreras, superficies y edificios están definidas en 3 dimensiones. El modelo HARMONOISE posee limitaciones en la creación de modelos 3 dimensionales, de allí la funcionalidad de 2.5-D [61].

La recomendación general para la elaboración de los mapas de ruido es poseer una grilla de 30 x 30 metros para las zonas abiertas o rurales y una malla de 10 x 10 metros para las áreas urbanas [65]. Sin embargo situaciones excepcionales u otros tipos de análisis pueden requerir otras escalas, por ejemplo ciertos mapas de ruido de aeropuertos y aeronáuticos se desarrollan en mallas de 100 x 100m mientras que otros detallados para tráfico vehicular en calles de centros de la ciudad suele usarse una malla de 2 x 2 m

El objetivo último de los mapas de ruido es determinar los efectos que este puede producir sobre la población, de allí que es necesario computarlo mediante sobreponer y confrontar la información obtenida con los alrededores especialmente con viviendas, edificios y otras áreas sensibles al ruido. Las funcionalidades del Sistema de Información Geográfico seleccionado usualmente son suficientes para realizar este trabajo. Para determinar las relaciones dosis-efecto se refieren en particular a la relación entre las molestias y los valores de ruido de cada fuente, y también particularizando la relación entre alteraciones de sueño y los valores de ruido nocturno [3]. Para ello se requiere: computar el área que es afectada por cierto valor de ruido o superior, determinar el número de ciudadanos afectados o con molestias por el ruido, determinación del número de edificaciones afectadas por el ruido incluyendo todas las actividades, y determinación de áreas verdes y parques naturales afectados.

La presentación de los datos finales obtenidos se lo puede realizar en forma de los mapas obtenidos pero sobre la elaboración de un plan de acción que incluyan tanto las mediciones y cálculos así como las medidas que pueden prever las autoridades dentro de sus competencias, el número de personas afectas y otras que se puedan requerir [3]

4. METODOLOGÍA

El método HARMONOISE e IMAGINE[8] y el método francés NMPB-Routes-2008, aunque es muy utilizado aún la versión anterior NMPB-Routes-1996 [43].

La selección del modelo Harmonoise por sobre los otros modelos se debe a que este incluye dos submodelos: 1) el modelo que predice la emisión sonora del flujo del tráfico vehicular y 2) el modelo que predice la propagación (atenuación) de dicha emisión sonora hasta el receptor. Por otra parte los otros modelos, a excepción del Nord2000 que tiene una estructura similar a Harmonoise, los dos submodelos no están diferenciados [66]. La norma ISO 9613-2 por otra parte únicamente calcula el modelo de propagación y los modelos Nord2000, Harmonoise y NMP-Routes lo toman en consideración en sus ecuaciones internas. Por otra parte el modelo Nord2000 no toma en consideración el tipo de pavimentación, y la función de absorción atmosférica no está dada por las diferentes frecuencias de la presión sonora.

De esta forma para el desarrollo metodológico en base al modelo Harmonoise se requiere la determinación de la fuente de ruido a analizar, en este caso el tráfico vehicular, la alimentación del modelo de propagación mediante las condiciones del entorno y características de la fuente y, finalmente se realiza un análisis de validación de los resultados obtenidos versus datos reales in situ; todo ello delimitado en el área de estudio. La Ilustración 8 muestra los elementos a tomar en cuenta en el desarrollo. Tomando en consideración [62] en la Ilustración 7 Esquematización del proceso de elaboración de un mapa de ruido.

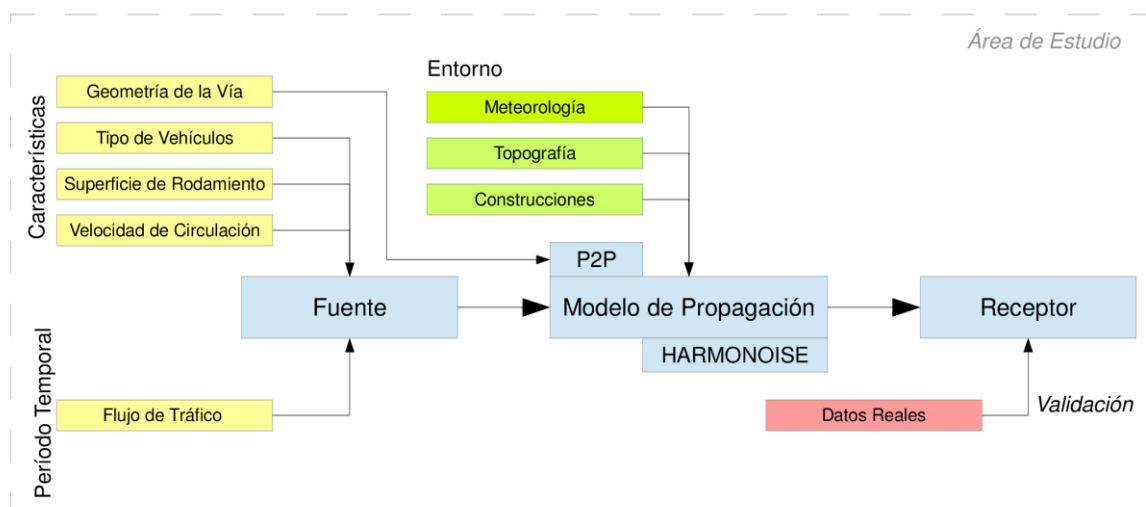


Ilustración 8 Diagrama del diseño de la Metodología aplicada.

Para el desarrollo se utilizarán los módulos asociados a P2P utilizados por [67] el cual permite la integración para otros desarrolladores como es el presente caso.

4.1. Definición del Área de Estudio

La ciudad de Cuenca cuenta con 30 puntos de monitoreo permanente⁴ de ruido ambiente, los mismos que están distribuidos en diferentes sectores de la ciudad, con diferente uso de suelo acorde a la dinámica de la zona [13].

De estos se ha seleccionado el sitio R25 – Gran Colombia, ubicado en el Centro Histórico de Cuenca, con un uso de suelo Comercial como punto central del área de estudio, la misma que se amplía para incluir las intersecciones adyacentes: para la calle Tarqui, con la Simón Bolívar, Gran Colombia y Mariscal Lamar, para la calle Gran Colombia, con la Juan Montalvo, Tarqui y General Torres. La Ilustración 9 muestra la ubicación geográfica del área de estudio.

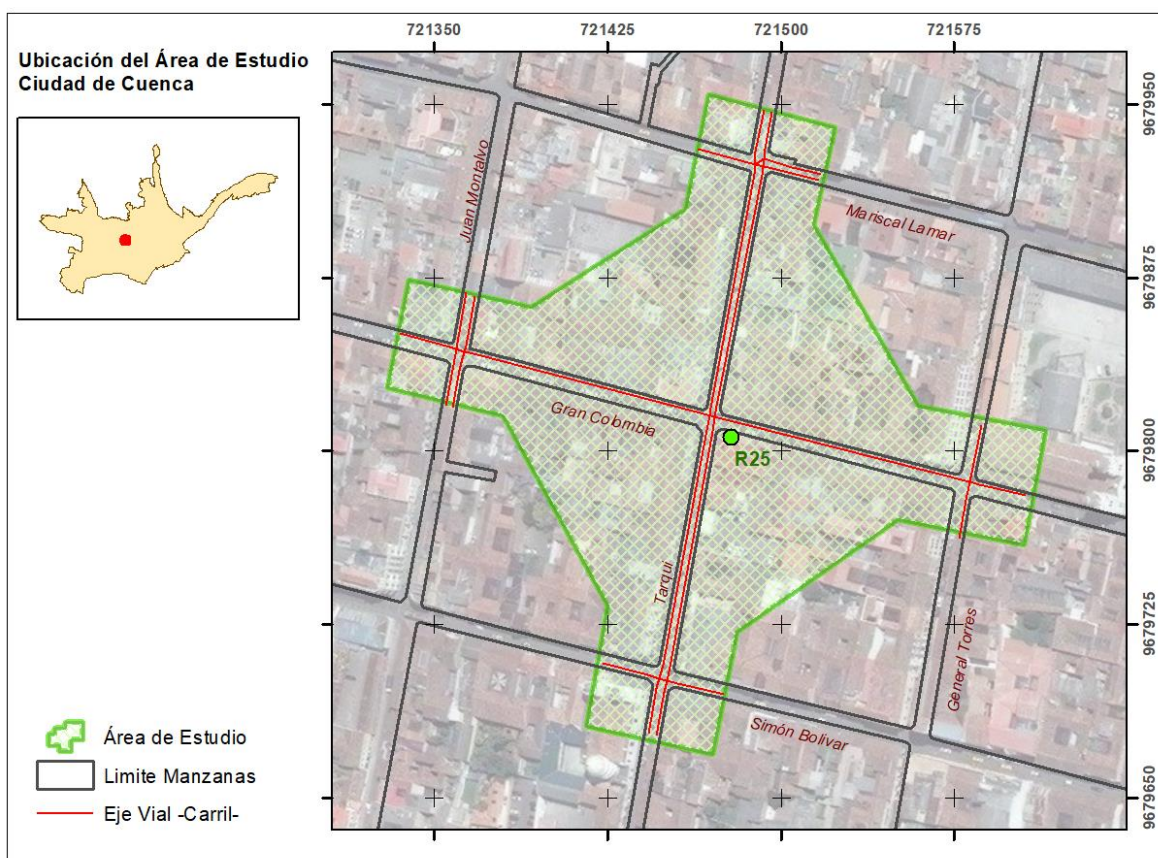


Ilustración 9 Área de Estudio.

4.2. Determinación de la Fuente de Ruido

El presente estudio se limita a la predicción de ruido por tráfico vehicular, por lo que otro tipo de fuentes de tipo puntual (equipos de sonido en negocios por ejemplo), lineal o área son excluidos del análisis.

La modelación del tráfico vehicular se suele expresar en términos de la potencia sonora de la fuente (L_W) y está en función de los siguientes parámetros: frecuencia,

⁴Los monitoreos se han venido realizando ininterrumpidamente desde el año 2012, a más del primer periodo realizado en 2009

tipología de los vehículos, velocidad de circulación, aceleración o desaceleración, tipo de superficie de rodamiento, la segmentación de la fuente y la posición de la fuente.

El ruido generado por la fuente calcula a partir de dos tipos de subfuentes, el 80% se debe al ruido generado por el rodamiento irradiado a 0.01m de la superficie y el 20% restante debido a la propulsión como tal, generado a 0.30 o 0.75m dependiendo del tipo de vehículo.

Varios modelos matemáticos han sido estudiados para que puedan describir el mayor número de tipo de fuentes (trenes, vehículos, por propulsión, por cambios en la transmisión, en detención, para ruido aerodinámico, etc.) y éstos están basados en mediciones empíricas y usando análisis de regresión se suelen reducir a ecuaciones del tipo:

$$L_{W,i} = a_i + b_i \log(v) \quad (4.1)$$

Donde i indica una frecuencia o tipo de fuente específica. Y los coeficientes a y b pueden llegar a tener un sinnúmero de valores acorde al tipo de análisis que se esté realizando.

Así para la generación del ruido por rodamiento, para cada frecuencia f de tercio de octava se tiene:

$$L_{WR}(f) = a_R(f) + b_R(f) \log\left(\frac{v}{v_{ref}}\right) \quad (4.2)$$

De igual manera para la generación del ruido por propulsión, para cada frecuencia f de tercio de octava se tiene:

$$L_{WP}(f) = a_P(f) + b_P(f) \log\left(\frac{v - v_{ref}}{v_{ref}}\right) \quad (4.3)$$

Donde v es la velocidad de circulación y v_{ref} es la velocidad de referencia que en la determinación de coeficientes de Harmonoise fue de 70 km/h. Los valores de los coeficientes a y b para cada tipo de vehículo pueden ser consultados en el algoritmo correspondiente del Apéndice A.1. Se han realizado varios ajustes a estos valores como por ejemplo en [68] pero se utilizarán los valores originales determinados en [48], [69], futuras investigaciones pueden llevarse a cabo para determinar los valores de estos coeficientes para las condiciones particulares de la zona.

Una vez definido el nivel de ruido por cada tipo de vehículo, se requiere obtener el nivel de ruido equivalente L_{eq} para un período de tiempo, el valor usual es de 24 horas, aunque si se desea obtener el ruido equivalente (día-tarde-noche) se requiere calcular para cada uno de estos períodos. Para la conversión de L a L_{eq} se utiliza la siguiente ecuación[70]:

$$L_{eq,T,i} = L_i + 10 * \log\left(\frac{N_i}{T}\right) \quad (4.4)$$

Donde N_i es el número de vehículos de cada clase i , durante el tiempo T , medido en segundos. Para lo cual es necesario el Índice Medio Diario de Tráfico.

Adicionalmente la Directiva Europea (END) propone el indicador L_{den} , el cual se determina aplicando la fórmula siguiente[3]:

$$L_{den} = 10 * \log \left(\frac{1}{24} \left(12 * 10^{L_{dia}/10} + 4 * 10^{L_{evening}+5/10} + 8 * 10^{L_{night}/10} \right) \right) \quad (4.5)$$

Donde L_{day} , es el nivel sonoro ponderado durando el período diurno y por defecto el valor es de 7:00 a 19:00 $L_{evening}$, el nivel sonoro ponderado durante los períodos vespertinos, por defecto de 19:00 a 23:00 y L_{night} es el valor en el período nocturno, considerado como el valor entre 23:00 a 7:00

4.2.1. Frecuencia

Se utilizan la bandas de frecuencias de tercios de octava entre 25 y 10 000 Hz para caracterizar la emisión de tráfico vehicular

4.2.2. Tipología de los vehículos

Se diferencian 2 tipos de vehículos que circulan en el área de estudio: 1) Vehículos Livianos, que incluyen automóviles (incluidos autos eléctricos), vanes, camionetas, busetas pequeñas (16 pasajeros) y cualquier vehículo que cumpla la condición de 2 ejes y un máximo de 2 ruedas por eje; 2) Vehículos Mediano/Pesados, que incluyen buses, camiones mediano u otros vehículos con 2 ejes y 6 ruedas en total

El número de vehículos pesados (3 o más ejes), que circulan en la zona es casi nulo, por lo que no se los considera dentro de los cálculos, aunque se incluirán las constantes en el desarrollo del algoritmo de cálculo. No se tiene información de Tráfico Medio Diario de motocicletas y otros vehículos de dos ruedas, por lo que no se toman en cuenta en los cálculos, a pesar de ello se desarrolla un algoritmo particular para este tipo de vehículo aunque fuera del cálculo principal.

4.2.3. Velocidad de circulación, Aceleración y Desaceleración

Acorde al Plan de Movilidad y Espacios Públicos de Cuenca[71] en el Centro Histórico la capacidad y el IMD (Índice Medio Diario de Tráfico Vehicular) muestra un grado de saturación (> 100%) sin embargo dentro del área de estudio la calle Tarqui no presenta ese problema ya que su grado de saturación es menor al 75%, la Ilustración 10 muestra el grado de saturación, nótese que por otra parte la calle Gran Colombia muestra un grado de saturación mayor al 100% lo que implica que a más de la aceleración y desaceleración normal en el manejo existen paradas y arrancadas adicionales debido a congestionamiento dentro de la vía.

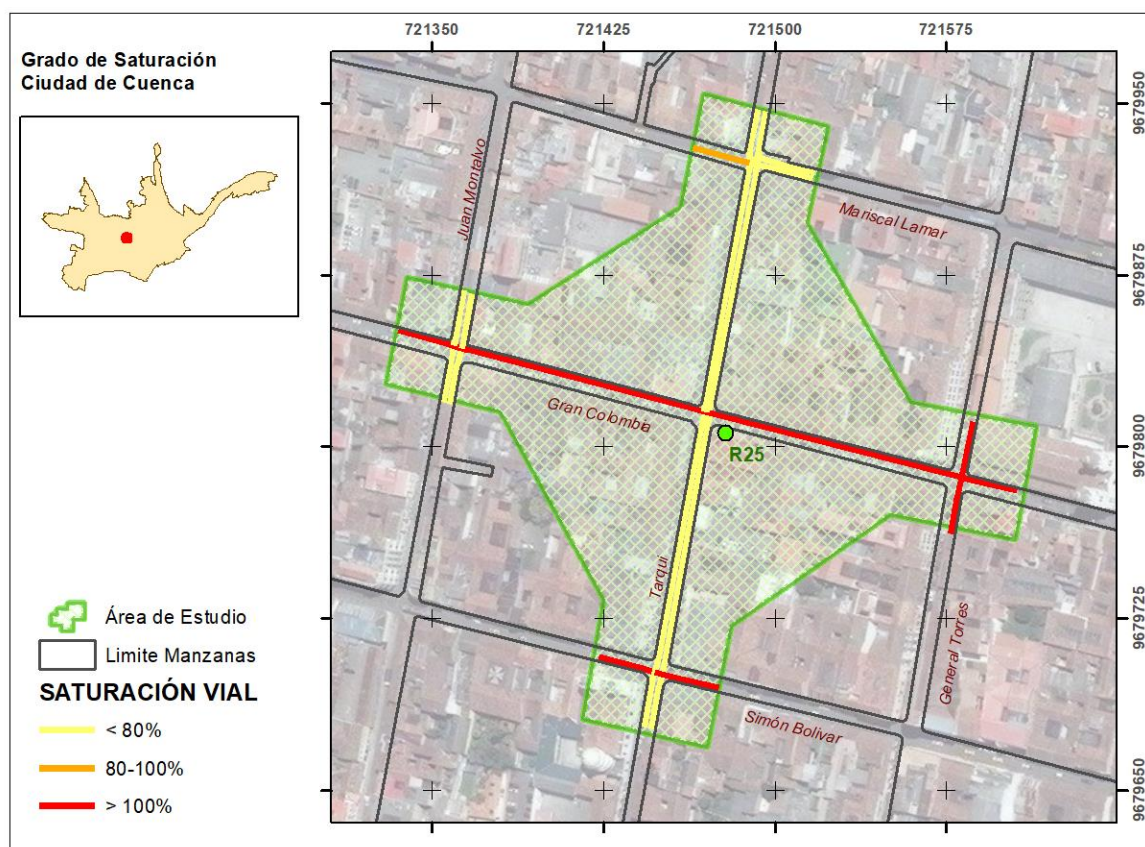


Ilustración 10 Grado de Saturación. Área de Estudio

La velocidad máxima permitida dentro del área de estudio es de 30 km/h, la misma que será usada como velocidad de cálculo para los vehículos livianos, por otra parte para los vehículos mediano/pesados será de 25 km/h [71], [72].

Aunque en las horas pico la velocidad puede llegar a ser de 3 km/h [72] en aquellos casos el algoritmo no tomará en cuenta esa velocidad para el cálculo..

Por encontrarse en el centro histórico no se considera en la simulación aceleración de tipo crucero, y se utiliza como flujo interrumpido.

4.2.4. Superficie de rodamiento

La superficie de rodamiento en el área de estudio es empedrado. Harmonoise tiene disponible dentro de la base de datos correcciones referente a este tipo de superficie [69]

4.2.5. Otros elementos de caracterización

Otros elementos como tipo de rueda, edad de la superficie o edad de los vehículos no son considerados dentro de los algoritmos de cálculo.

La temperatura del aire (θ) si es aplicada para la corrección del ruido de rodamiento, para lo cual se toma en consideración la siguiente ecuación:

$$L_{WR}(\theta) = L_{WR}(\theta_{ref}) + K(\theta_{ref} - \theta) \quad (4.6)$$

Donde la temperatura de referencia (θ_{ref}) es de 20°C y el Coeficiente K está en función del tipo de pavimento, el mismo que puede ser consultado en el algoritmo correspondiente en el Apéndice A.

Acorde a los datos del INER [73] en la estación meteorológica Yanuncay-Colegio Técnico Salesiano la temperatura media de Cuenca durante el año 2016-2017 fue de 14.93 °C.

4.2.6. Geometría de la vía y la fuente

Harmonoise maneja como un submodelo aparte la determinación del nivel de presión sonora del tráfico vehicular. A pesar que el tráfico vehicular es una fuente de tipo lineal, la misma debe ser modelada como fuente tipo punto, de allí que se requiera una conversión para que el análisis de línea-punto sea de punto-punto P2P, la segmentación de la vía se basa en el Ángulo de Visión del punto receptor hacia la vía, así TNM estipula un ángulo máximo de 10°, mientras que usualmente Harmonoise usa 5° aunque no lo establece como requerimiento, se utilizará este ángulo en el cálculo.

La Ilustración 11 muestra como una fuente lineal, es convertida en una fuente de tipo puntual, para ello se toma en cuenta la ubicación del receptor respecto a la línea y se la segmenta acorde al ángulo de visión, y se genera una línea segmentada cuyo centro será el punto que generará la presión sonora a medir. Esto se repite acorde al ángulo de visión hasta que la línea quede fuera del mismo. De esta manera para cada nueva fuente (Tipo Punto) se genera una trayectoria hacia el receptor (también tipo punto).

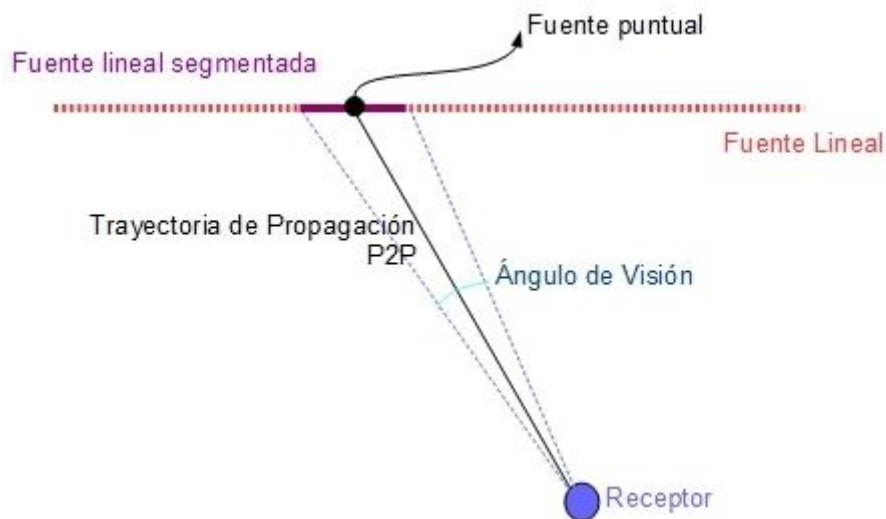


Ilustración 11 Traspaso de una fuente lineal a una fuente tipo punto

Adicionalmente para cada tipo de vehículo son tomadas en cuenta dos alturas diferentes, el primero fijo para cualquier tipo de vehículo es de 0.01 m, que es la altura

a la cual se genera el ruido por rodamiento, y el segundo de 0.30m en caso de vehículos livianos y 0.75m para vehículos medianos y pesados que corresponde al ruido de motor.

En caso de trabajar con un único valor, el ruido p se asigna a la altura de 0.01m y se distribuye acorde a la siguiente ecuación:

$$p = \frac{0.8 * 10^{L_{WR}/10} + 0.2 * 10^{L_{WP}/10}}{10^{L_{WR}/10} + 10^{L_{WP}/10}} \quad (4.7)$$

Donde: L_{WR} es el ruido generado por el rodamiento y L_{WP} el nivel de ruido generado por el motor (propulsión).

4.2.7. Flujo de tráfico

Cuenca cuenta con el Sistema de Gestión de Tráfico Adaptativo Centralizado [71] lo cual permite contar con datos de las intensidades horarias de tráfico motorizado. En cualquier vía la intensidad de tráfico experimenta variaciones a lo largo del tiempo, observándose oscilaciones cíclicas según la escala de tiempo considerada. En el ciclo diario se observa que tanto en el Centro Histórico como en la periferia existen tres picos de tránsito de 7:00 a 8:00, de 13:00 a 14:00 y de 18:00 a 19:00 que coincide con el Inicio y Final de la Jornada Laboral y la pausa del medio día. El Gráfico 2 muestra la distribución horaria Intensidad Media Diaria Tipo, ajustada para el Área de Estudio. Por otra parte la Ilustración 12 muestra el IMD dentro del área de estudio, en caso de las vías con doble carril, el IMD ha sido dividido para cada uno de los carriles

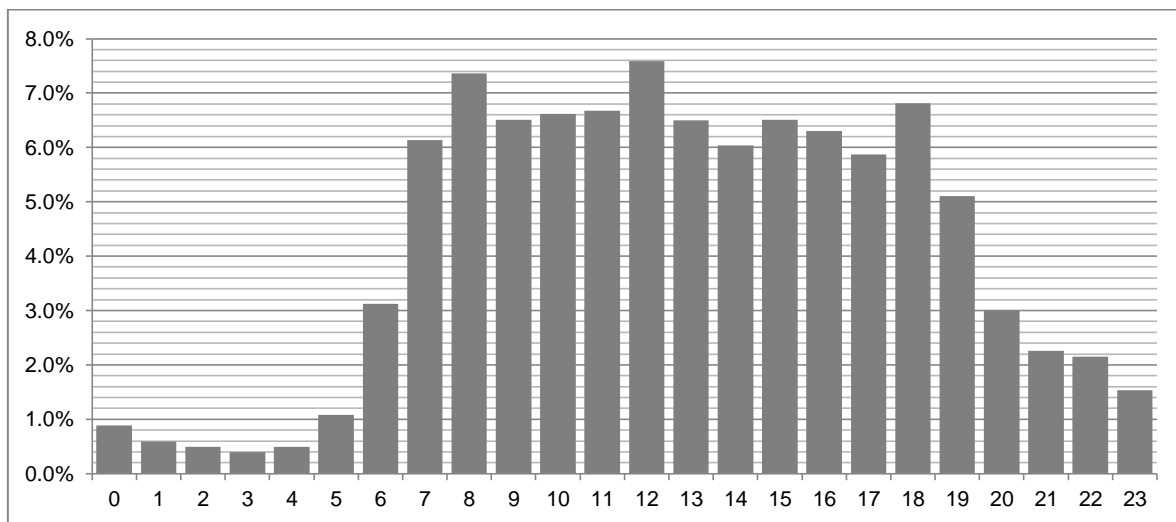


Gráfico 2 Distribución de la Intensidad Media Diaria de Tráfico.

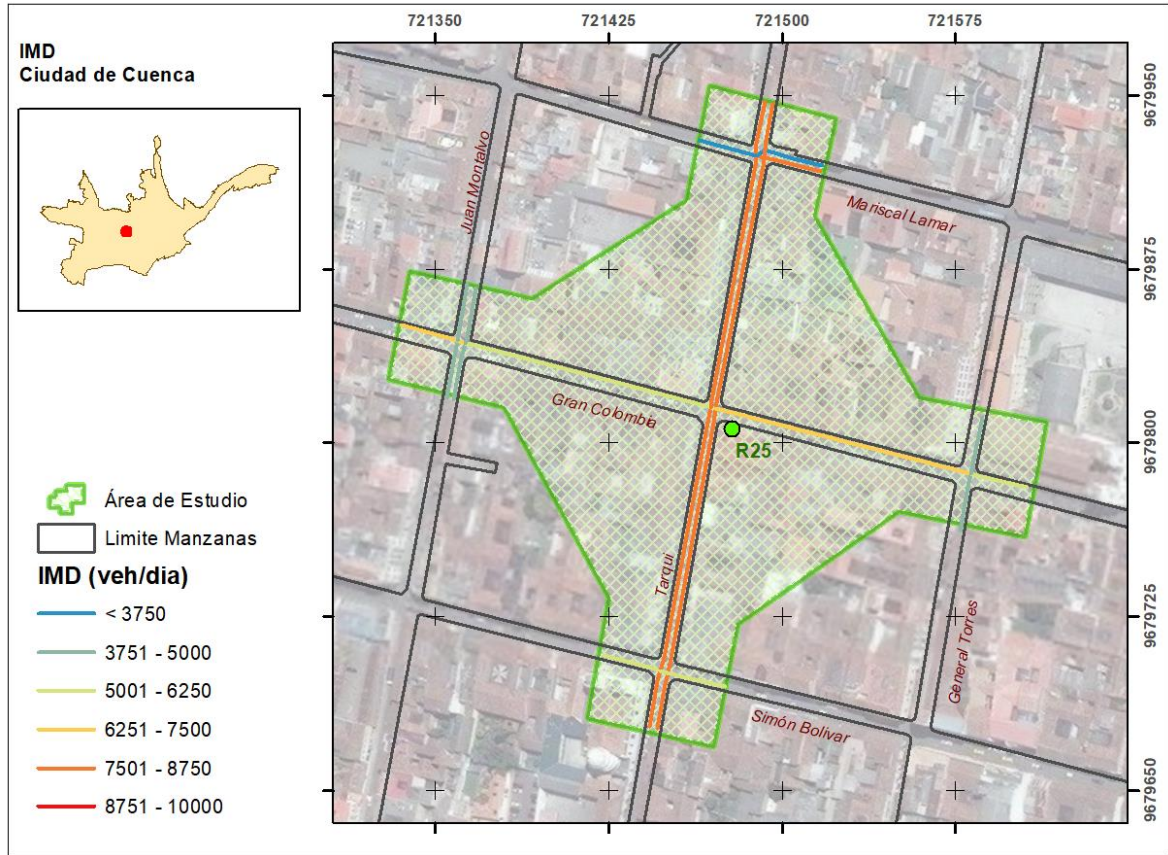


Ilustración 12 IMD dentro del área de estudio

4.3. Definición del Modelo de Propagación

Considerando la situación entre una fuente de ruido y un receptor, el nivel de ruido L medido en el receptor está descrito en función del nivel de ruido de la fuente L_w , y el término de la atenuación por la propagación ΔL_{prop} ; siendo según [8], [67] y las ecuaciones (3.7) y (3.8):

$$L = L_w + \Delta L_{prop} \quad (4.8)$$

Estrictamente hablando el término ΔL_{prop} es negativo, y para Harmonoise viene dado por:

$$\Delta L_{prop} = \Delta L_{geo} + \Delta L_{air} + \Delta L_{excess} \quad (4.9)$$

ΔL_{geo} se refiere a la atenuación geométrica que para el caso particular de fuentes tipo punto es:

$$\Delta L_{geo} = -10 * \log(4\pi r^2) \quad (4.10)$$

Y cuando se trabaja con fuentes de tipo lineales el factor de la distancia debe ser tomado en cuenta en los cálculos y diferentes fórmulas se aplican.

ΔL_{air} se refiere a la atenuación por la absorción del aire, la misma que es calculada acorde a la ISO 9613-1 [31], la misma que requiere el cálculo del coeficiente α el mismo que está dado por la norma supracitada y depende de la temperatura y de la humedad relativa, siendo:

$$\Delta L_{geo} = \frac{-\alpha \cdot d}{1000} \quad (4.11)$$

Donde, d es la distancia recorrida por la onda

El parámetro ΔL_{excess} se refiere a la atenuación cuyos efectos están dados por la refracción y la turbulencia atmosférica, la reflexión sobre el suelo, los efectos de barreras y obstáculos encontrados. Para el cálculo de ΔL_{excess} se asume que la fuente puede ser representada por uno o más fuentes de tipo punto, lo cual se explicó en el punto Geometría de la Vía.

Uno de los puntos más importantes es la geometría/trayectoria de propagación, ya que es a partir de este que se realizan los cálculos necesarios. Los mismos que están incluidos en los módulos de P2P/Harmonoise [8], [67], [74]

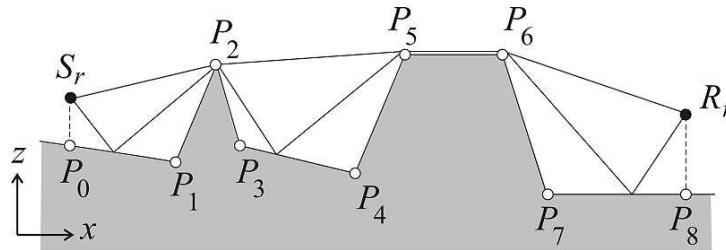


Ilustración 13 Perfil de propagación del ruido desde una fuente S a un receptor R

El Software de Cálculo de Propagación P2P se desarrolló como parte del proyecto Harmonoise. El objetivo del proyecto era generar una biblioteca de propagación del sonido a nivel de Modelo de Ingeniería, para que fuera integrado fácilmente por otros desarrolladores en su software, la Biblioteca está escrita en lengua C y C++ sin servicios de dependencias adicionales, lo cual significa que puede ser implementado en entornos como Matlab, el cual es el objetivo del presente documento.

El software tiene las siguientes limitaciones: El cálculo se refiere a un máximo de 30 frecuencias, se pueden asignar un máximo de 100 impedancias, el plano puede tener un máximo de 1000 segmentos.

Tomando en consideración estos limitantes, se elaboran los códigos necesarios para implementar P2P en Matlab, y obtener los Resultados.

4.3.1. Variables de entorno

Para la meteorología se utilizan los datos de la Estación Yanuncay-Colegio Técnico Salesiano, manejada por el Instituto Nacional de Energía Renovable y la Universidad Politécnica Salesiana, obteniendo como datos a utilizar en la programación para el período de medición marzo 2016 – febrero 2017 una temperatura de 14.93°C, y una humedad relativa de 73.85%. La velocidad media del viento se encuentra en 1.93 m/s

y la dirección predominante es la noreste [75], según se observa en el Gráfico 3. Sin embargo para el cálculo no se utilizan, ya que a nivel de suelo los efectos principales siguen el efecto cañón y no los datos recogidos a 10m en las estaciones meteorológicas.

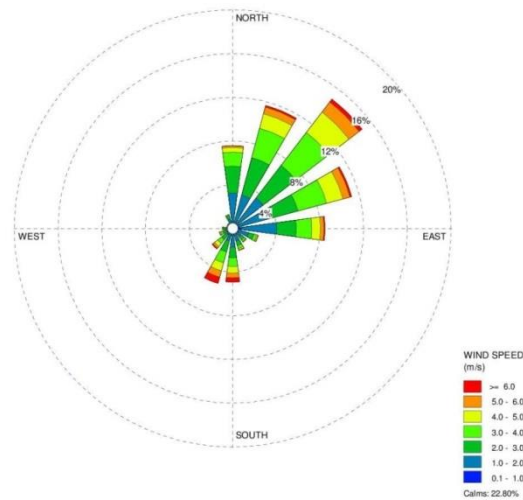


Gráfico 3 Dirección y Velocidad del Viento. Cuenca

Por otra parte se utilizan los datos del catastro del municipio de Cuenca[76] para determinar la topografía de la zona y la distribución de las construcciones, manzanas y calles del Área de Estudio. A partir de estos se genera un Raster de 0.1x0.1m con la información el mismo que se muestra en la siguiente Ilustración.

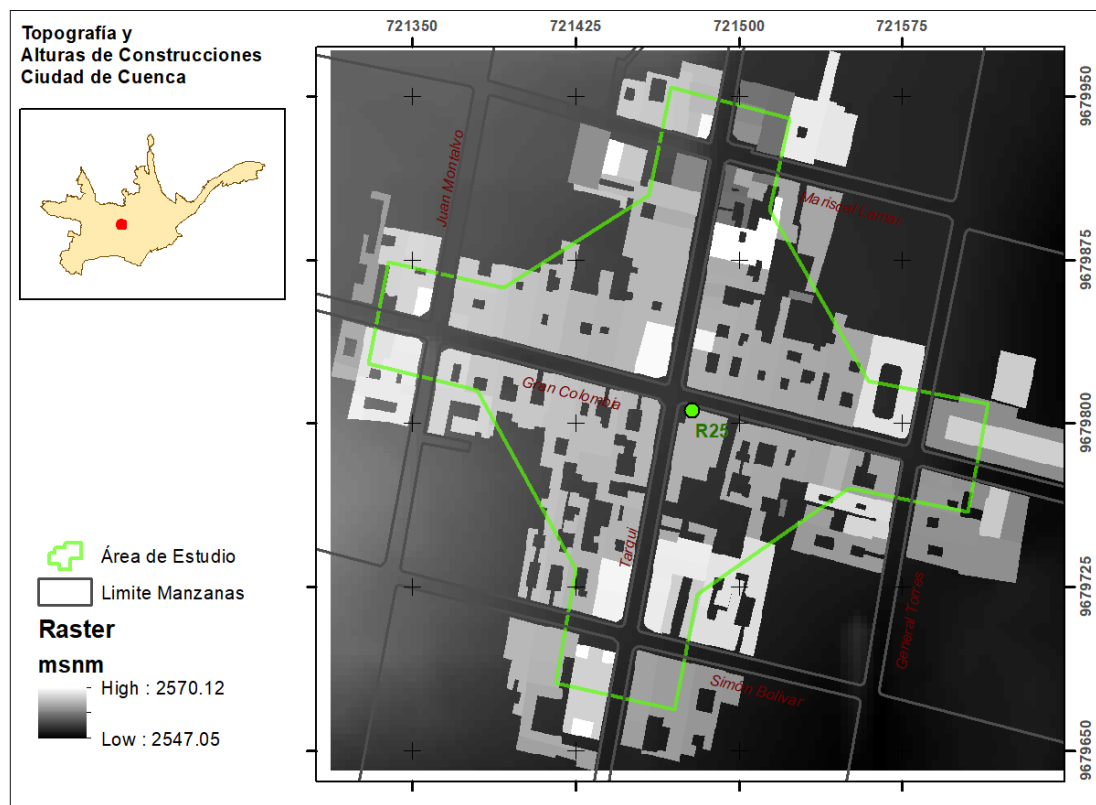


Ilustración 14 Topografía y Alturas de las Construcciones. Área de Estudio

4.4. Definición de receptores

Los receptores fueron definidos en una malla de 1m x 1m distribuidos a la altura de 0.5 m en el área de estudio.

4.5. Validación. Monitoreo de Ruido

El monitoreo se realizó en base a la normativa ambiental vigente Anexo 5 del Libro VI del TULSMA, en el cual se establecen los Niveles máximos de emisión de ruido y metodologías de medición para fuentes fijas y fuentes móviles y niveles[12]. Y debido a que la evaluación de ruido en la ciudad de Cuenca se viene realizando desde 2009 se utiliza la metodología unificada que se ha venido usando desde entonces [13], la cual se basa en la normativa anterior Anexo 5 del Libro VI del TULAS “Límites Permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas, fuentes móviles y vibraciones”[11] pero que cubre con creces el tiempo mínimo recomendado en ambas normativas, sin embargo para este caso particular solo se registra el nivel de nivel de ponderación temporal Lento en escala A y C.

Las características del equipo se muestran en la siguiente tabla, y el certificado de calibración y trazabilidad en el Apéndice C:

Tabla 11 Características del equipo utilizado para la medición de ruido

Nombre del Equipo:	SONÓMETRO	
Marca:	Quest Technologies	
Modelo:	SoundPro SE-DL 2 1/1	
Frecuencia:	1 kHz	
Característica a Medir:	Ponderación:	A, C, F, Z (Lineal)
	Tiempo de Respuesta:	Rápido, Lento, Impulso
	(Opcional):	Clase 1, ANSI S1.11 – 2004, EN/IEC 616260
	Clase/Tipo 1	Frecuencias centrales: (Modo 1/3) 33 frecuencias centrales desde 12.5Hz a 20kHz. (Modo 1/8) 11 frecuencias centrales desde 16Hz a 16kHz.
	Umbral:	0 – 140dB
	Tasas de Cambio:	3, 4, 5, 6dB
Unidad de Medición:	dB (NPA, MAX, MIN, PICO, Ln, NSCE, NEQ, SEL, TWA, Taktm, DOSIS, PDOSIS, LDN)	
Límite de Medición (rango):	Frecuencia:	Clase 1: 3Hz - 22.4kHz; Clase 2: 20Hz – 8kHz; Filtros: 1/1 de Octava (Opcional), 1/3 Octava.
	Amplitud:	(Opcional)
	Nivel Máximo de Pico:	Banda Ancha: (8) a Seleccionar. 100dB Rango Dinámico, ATR: (8) a Seleccionar, 80dB Rango Dinámico.
		3dB arriba de la lectura a escala completa.

El horario del muestreo se estableció sobre la base del estudio realizado para la Evaluación de Ruido de Cuenca [13] el mismo que se basa en Plan de Movilidad de Cuenca [71] en el cual se establecen las frecuencias de entrada y salida de los vehículos de la zona céntrica de la ciudad de Cuenca. Con esta información, se determinaron los puntos críticos donde se presenta el mayor tráfico vehicular y flujo de personas, que para el caso particular de este documento es el R25 en las Calles Gran

Colombia y Tarqui, y que corresponden a las: 7h00, 13h00 y 18h00. Además [13] añade los horarios correspondientes a las 10h00 y 15h00 que son los horarios en donde el citado flujo disminuye; y con el propósito de contar con información de las horas pico y de las horas valle se incluyó a las 21h00 como horario nocturno.

Las condiciones para la medición son las establecidas en la legislación actual [12], a saber:

- La evaluación ambiental base será para determinar la fuente emisora de ruido –FER- tomando en cuenta los puntos críticos de afectación.
- Las condiciones ambientales durante las mediciones no deben efectuarse durante condiciones adversas que afecten el proceso de medición como lluvias o truenos o vientos fuertes mayores a 5m/s.
- El sonómetro es colocado a una altura mínima de 1.5 m direccionando el micrófono hacia la FER con una inclinación de 45 a 90° sobre su plano horizontal
- El operador, y en este caso los transeúntes estarán alejados del equipo al menos 1 m.
- Durante la medición se evaluará el ruido residual ambiental de tal manera que influya de manera mínima en el ruido total de la FER y está sea máxima

La metodología para determinar los niveles de ruido específico y ruido equivalente se basan en la misma norma [12] siendo:

- Medición del ruido total y residual mediante el método de los 15 segundo, es decir reportar un mínimo de 5 muestras con esa longitud de tiempo
- La serie de datos para cada uno de los tipo de ruido es válida cuando los datos extremos son menores o iguales a 4dB
- Se reportan los niveles de presión sonora mínimos L_{min} , máximos L_{max} y medidos de cada muestra
- El valor a reportar será el de Ruido específico LK_{eq} en dB. Para lo cual debido que el tráfico puede presentar características impulsivas y de contenido alto en frecuencias bajas será necesario medir los valores de dB(A) lento, dB(A) impulsivo y dB(C) lento tanto para ruido residual como ruido total. De esta manera se realizaran correcciones cuando se amerite.

Para determinar el valor del Ruido específico LK_{eq} en dB, se utiliza la ecuación:

$$LK_{eq} = LA_{eq} - K \quad (4.12)$$

Donde LA_{eq} es el ruido total en ponderación temporal Lenta y escala A, y K son las correcciones aplicadas debido a la contribución por el ruido residual que se lo determina mediante la ecuación:

$$K = -10 \log(1 - 10^{-0.1\Delta L}) \quad (4.13)$$

Donde ΔL viene dado por la resta del ruido total promedio y el ruido residual promedio en cada una de las escalas medidas A-Lento, A-Impulsivo y C-Lento, siendo únicamente válido si esta diferencia es igual o mayor a 3 dB, si esta diferencia es menor no se aplica la corrección de la ecuación (4.12) Finalmente se toman en consideración las correcciones finales acorde a la ilustración siguiente:

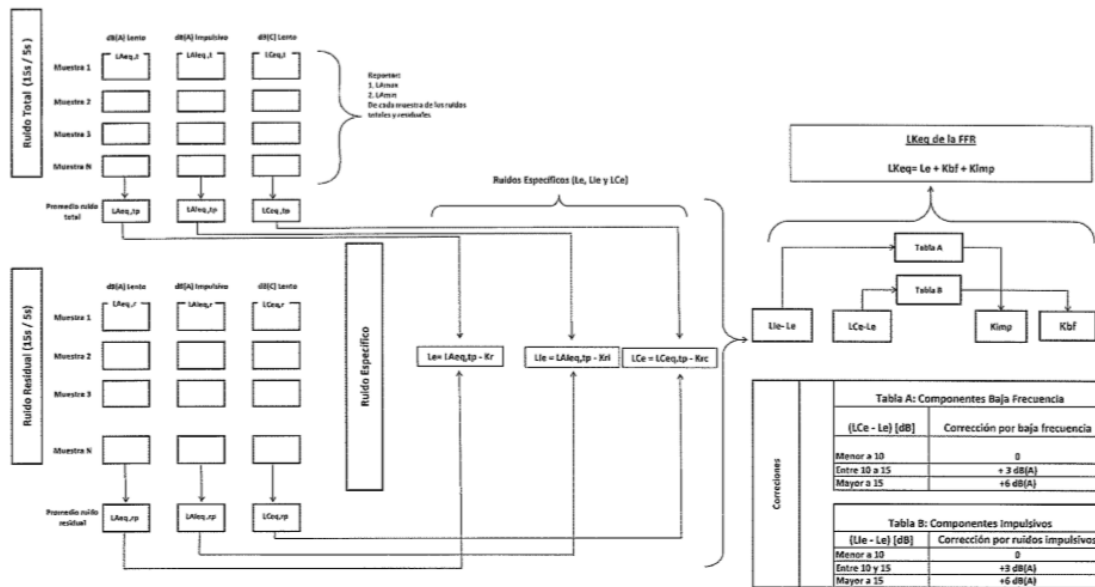


Ilustración 15 Flujo de cálculo de LKeq [12]

Por otra parte [13] utiliza una metodología diferente y solo reporta los valores de la ponderación A-Lento para un periodo de medición de 15 minutos, para obtener una mayor flujo de datos, esta metodología es aplicada para un número mayor de horarios siendo: 6h00, 7h00, 8h00, 12h00, 13h00, 14h00, 18h00, 19h00 y 20h00 en este caso la medición no se realiza en el punto R-25 especificado, sino en la zona de entrada del ruido es decir en las Calles Tarqui y Calle Gran Colombia, en contraflujo a al menos a 50m de la ubicación de punto de medición R-25. Además, en la medición se reporta datos de del ruido total en ponderación A-Lento y C-Lento con el flujo vehicular de vehículos pesados, livianos y motos, además del flujo peatonal. En el reporte se incluye la composición por frecuencias y la composición temporal.

A diferencia de la metodología según normativa, los datos reportados para estos 9 horarios son generados por el sonómetro, por lo que únicamente se requiere procesamiento simple de los datos.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Ejecución del modelo

5.1.1. Pruebas preliminares

Previo a inicializar el modelo se condujeron pruebas preliminares para evaluar el modelo de propagación y confirmar la correcta ubicación de carpetas y librerías.

La preparación de la librería MEX-P2P se realizó mediante el código, tomando en cuenta que la carpeta de ejecución es ./mex: `mex p2pcalc.cpp -I../include -I../src`

Hay que considerar que para la correcta ejecución fueron necesarias librerías adicionales como Microsoft Visual C++ 2013 Professional, Microsoft .NET Framework SDK 4.0 y que la versión base de Matlab utilizada fue Matlab R2013a 64-bits[77].

Una vez confirmada la correcta ejecución de la librería, conjuntamente con todas las librerías anexas necesarias y otros programas se procede a ejecutar programas modelo, siendo en primer lugar necesaria la evaluación del resultado obtenido con diferentes parámetros tanto de recorrido, meteorológicos, de impedancia, etc. Así se procede a elaborar el código Ejemplo 1. Comprobación de variación de parámetros del Apéndice A.0 Programas de inicialización del modelo de propagación, y correr las variables según la tabla siguiente, para una fuente tipo de tráfico vehicular mixto pesado y liviano:

	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Velocidad del Viento (m/s)	2	2	3	3	1	1
Dirección de viento (cos θ)	0.5 (60°)	0.5 (60°)	1 (0°)	-1 (180°)	1	1
Indicador de estabilidad térmica	1 (Día – 4 octas)	1 (Día – 4 octas)	0 (Día – 1 octa)	4 (Noche 1 octa)	1 (Día – 4 octas)	1 (Día – 4 octas)
Temperatura (°C)	25	25	25	10	25	25
Humedad Relativa (%)	50	50	40	40	50	50
Ubicación de la fuente (m)	h = 1	h = 1	h = 1	h = 1	h = 1	h = 1
Ubicación del receptor (m)	d = 50 h = 1.5	d = 50 h = 1.5	d = 50 h = 1.5	d = 50 h = 1.5	d = 100 h = 1.5	d = 100 h = 1.5
Obstáculos	NO	d = 3 h = 4 a = 0.1	NO	NO	NO	NO
Impedancia del suelo (Tipo de suelo) kNsm^{-4}	Césped (500)	Césped (500) Obstáculo: Concreto (20000)	Césped (500)	Césped (500)	Concreto (20000)	No compact (80)

Como se observa en el Gráfico 4 variando las condiciones de la ruta de propagación, para comprobar los efectos de refracción, el nivel de presión sonora que llega al receptor en un escenario con un muro de 4 m y 10 cm de espesor es menor al que llegaría sin estas condiciones, en todas las frecuencias analizadas

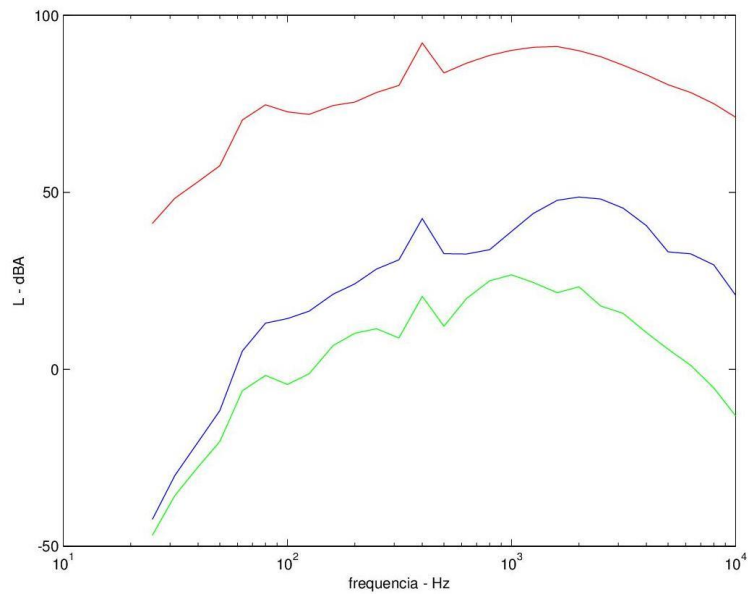


Gráfico 4 Variación de ruido con diferente ruta de propagación

Fuente de ruido (rojo), A1 - sin muro (azul), A2 - con muro (verde)

En el Gráfico 5 se parte variando las condiciones meteorológicas de manera que en un escenario el receptor se encuentre a favor del viento en el día y una temperatura de 25 °C (Escenario B1) respecto a un escenario con el viento en contra por la noche y con una temperatura de 10 °C, (Escenario B2) se observa que en lo que corresponde a las frecuencias altas, estas viajan con mayor facilidad a favor del viento, por otra parte las frecuencias medias se encuentran con dificultad de viajar hacia el receptor aún en condiciones de viento favorable debido principalmente a las condiciones de temperatura, cabe destacar que no se trata de que la directividad de la fuente es decir que el ruido solo se enfoque a un lado, si no que el ruido viaja hacia todos los ángulos al mismo tiempo, además la distancia no es cercana si no a 50 metros.

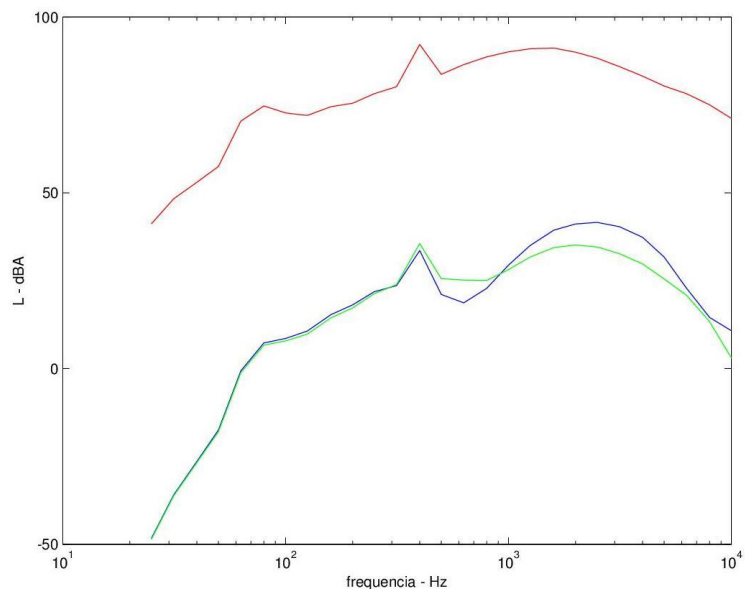


Gráfico 5 Variación de ruido con diferentes condiciones meteorológicas

Fuente (rojo), B1 – Viento a favor, en día (azul), B2 - Viento en contra, noche (verde)

Lo observado en el Gráfico 6 respecta a la variación en el tipo de suelo en el cual se refleja el ruido. Para el caso del suelo no compacto o poroso, el ruido no se refleja cosa que si lo hace en el concreto (línea azul) lo que implica que el ruido que llega al receptor es mayor.

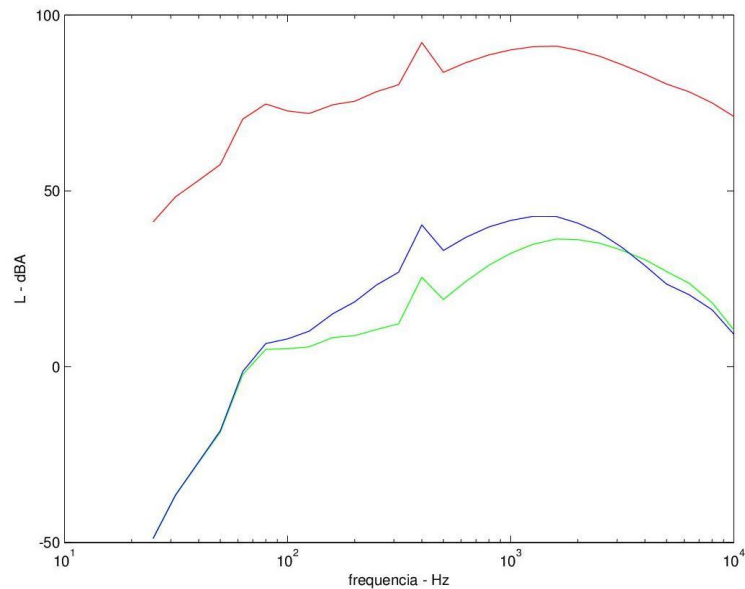


Gráfico 6 Variación de ruido con diferente tipo de suelo

Fuente (rojo), C1–Tipo de suelo: Concreto (azul), C2 – Tipo de suelo: No compacto (verde),

Comprobado el funcionamiento, se procede a realizar prueba con escalas, mallas, colores, contornos, agrupación de frecuencias y sumas logaritmicas, para lo cual se elabora el Ejemplo 2 Comportamiento de Ruido, del apéndice A.0. Obteniendo, para una fuente de 90 dB(A) el siguiente gráfico:

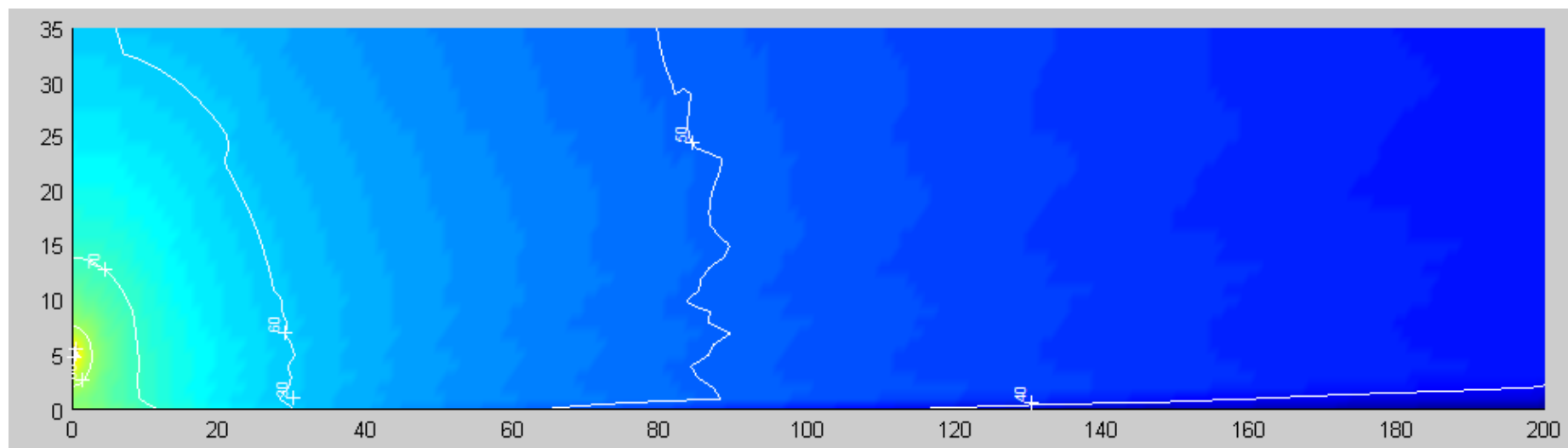


Gráfico 7 Variación de ruido en el espacio.

Adicionalmente se ejecuta el Ejemplo 3, el cual procede de la versión original elaborada por [67] y se muestra en el Apéndice A.0, se ejecuta el script para una fuente, y posteriormente se modifica el código para que pueda ejecutarse con dos fuentes y comprobar la suma de ruido. Obteniendo los gráficos siguientes:

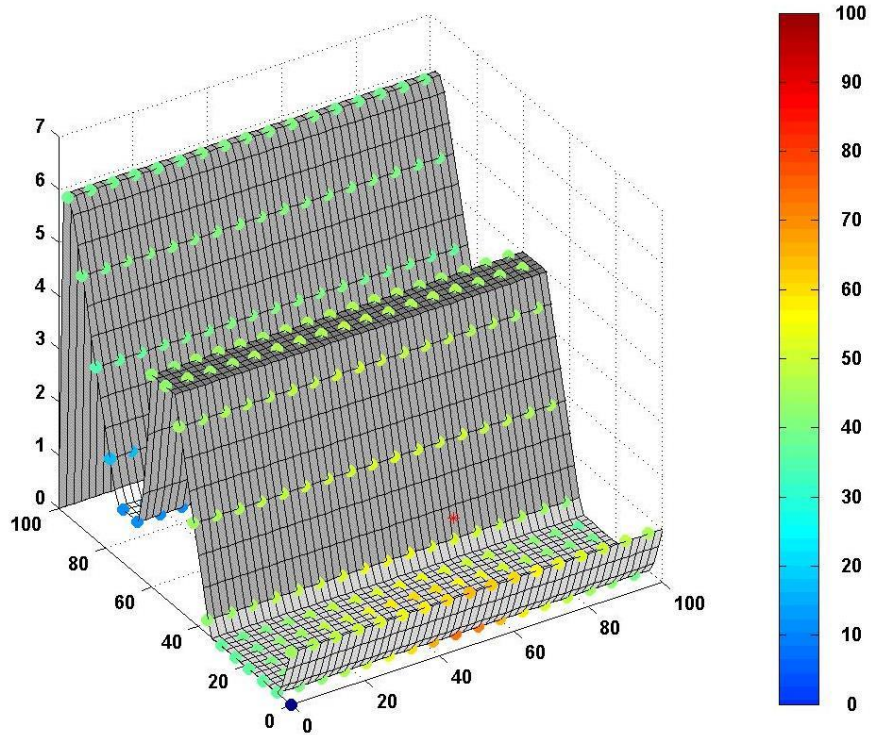


Gráfico 8 Ejecución simplificada del código [67]

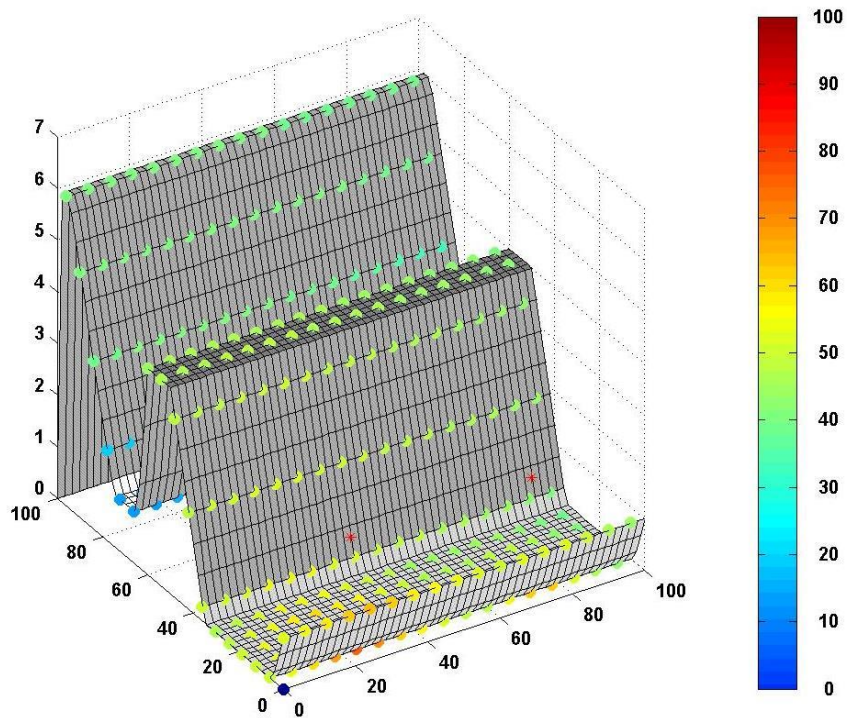


Gráfico 9 Ejecución simplificada del código para dos fuentes

Se observa en los gráficos anteriores como es el funcionamiento del programa colocando una barrera, y una o dos fuentes, en ambos casos la zona cubierta (coordenadas $x = 80$) posee niveles de ruido mucho menores por la presencia de la barrera, y en el caso de los puntos inmediatamente inferiores a las fuentes de ruido (coordenadas $x = 20$) se observa una sombra de mayor ruido junto a cada una de las fuentes, comprobando el funcionamiento del modelo, además la dispersión del ruido se da hacia todo los ejes de coordenadas.

5.1.2. Resultados de la modelación

Para la determinación del nivel de presión sonora equivalente de las fuentes de ruido se elaboraron los códigos presentados en el Apéndice A.1 Cálculo de emisiones por tráfico vehicular y A.2 Determinación del Ruido equivalente, y cuyos resultados se muestran en la Tabla 12.

El identificador utilizado en la Tabla 12 sigue el siguiente esquema: (Siglas del nombre de la calle)_(Dirección del tráfico)_(carril)_(ubicación). Los valores obtenidos promedio varían entre los 66.6 y 73.4 dB(A) estableciendo como período de análisis 1 hora. Debido a que el modelo HARMONOISE requiere los valores diferenciados por frecuencias, estos también son calculados; La Ilustración 16 muestra la composición típica por frecuencias para los carriles derecho e izquierdo de la Calle Tarqui, obsérvese como para el carril derecho las frecuencias bajas son mayores, debido a la presencia de vehículos pesados (buses). Cabe destacar que la simulación se realiza en condiciones previa a los trabajos en el Tranvía, por lo tanto ciertos sentidos de calles y carriles usados son diferentes a los actuales.

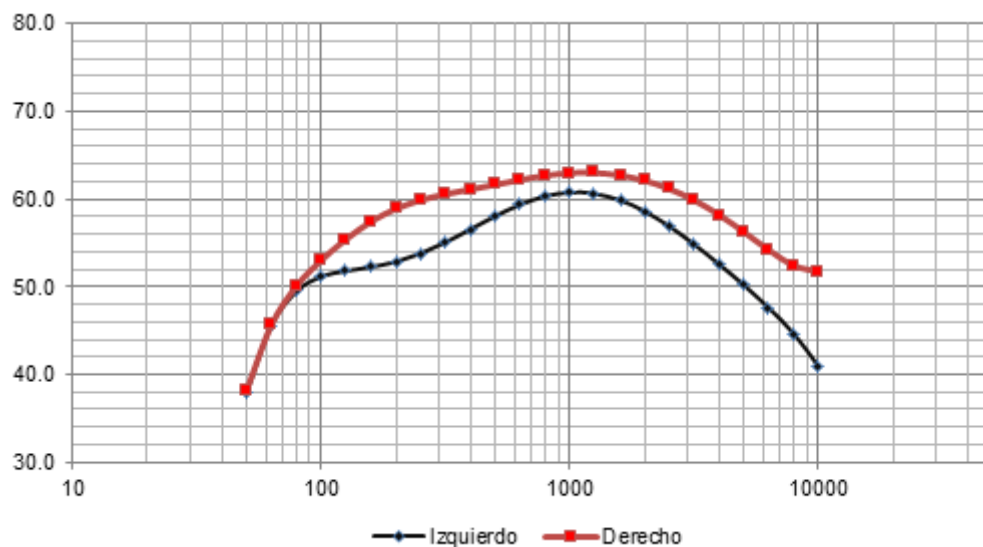


Ilustración 16 Valores de Leq (24h), Calle Tarqui

Los valores obtenidos y utilizados en la programación se muestran en el Apéndice A.3. Códigos referentes a la ubicación de fuentes, receptores y nivel de presión sonora

Tabla 12 Emisiones de nivel de presión sonora equivalente por fuente analizada

ID	IMD_L	IMD_H	dbA	f_50	f_63	f_80	f_100	f_125	f_160	f_200	f_250	f_315	f_400	f_500	f_630	f_800	f_1000	f_1250	f_1600	f_2000	f_2500	f_3150	f_4000	f_5000	f_6300	f_8000	f_10000
GC_OE_i_1	6463	300	70.0	37.1	44.8	48.9	50.8	52.0	53.1	54.1	55.0	56.0	57.1	58.2	59.3	60.1	60.5	60.4	59.8	58.8	57.4	55.6	53.6	51.5	49.2	46.8	45.2
GC_OE_i_2	5871	300	69.7	36.7	44.4	48.5	50.4	51.7	52.8	53.8	54.8	55.8	56.8	57.9	58.9	59.8	60.1	60.1	59.5	58.4	57.1	55.4	53.3	51.2	48.9	46.6	45.1
GC_OE_i_3	7388	0	69.4	37.4	45.2	49.1	50.7	51.4	51.9	52.4	53.4	54.6	56.2	57.6	58.9	59.9	60.3	60.2	59.4	58.2	56.5	54.5	52.1	49.8	47.2	44.2	40.5
GC_OE_i_4	5844	0	68.4	36.4	44.2	48.1	49.7	50.4	50.8	51.4	52.3	53.6	55.1	56.6	57.9	58.9	59.3	59.2	58.4	57.2	55.5	53.5	51.1	48.8	46.2	43.2	39.5
GT_NS_i_2	4828	0	67.6	35.6	43.3	47.3	48.9	49.5	50.0	50.6	51.5	52.8	54.3	55.8	57.1	58.1	58.5	58.4	57.6	56.3	54.7	52.6	50.3	48.0	45.4	42.3	38.7
GT_NS_i_3	4905	0	67.6	35.6	43.4	47.4	48.9	49.6	50.1	50.7	51.6	52.9	54.4	55.8	57.2	58.1	58.6	58.4	57.7	56.4	54.8	52.7	50.4	48.0	45.4	42.4	38.8
JM_NS_d_2	2181	1819	72.3	35.2	42.5	47.6	51.3	54.2	56.8	58.3	59.3	59.9	60.2	60.5	60.8	61.2	61.4	61.5	61.4	61.0	60.3	59.1	57.5	55.7	53.7	52.0	51.6
JM_NS_d_3	2181	1819	72.3	35.2	42.5	47.6	51.3	54.2	56.8	58.3	59.3	59.9	60.2	60.5	60.8	61.2	61.4	61.5	61.4	61.0	60.3	59.1	57.5	55.7	53.7	52.0	51.6
JM_NS_i_2	4000	0	66.7	34.8	42.5	46.5	48.1	48.7	49.2	49.8	50.7	52.0	53.5	55.0	56.3	57.3	57.7	57.6	56.8	55.5	53.9	51.8	49.5	47.1	44.6	41.5	37.9
JM_NS_i_2	4000	0	66.7	34.8	42.5	46.5	48.1	48.7	49.2	49.8	50.7	52.0	53.5	55.0	56.3	57.3	57.7	57.6	56.8	55.5	53.9	51.8	49.5	47.1	44.6	41.5	37.9
ML_EO_d_3	2487	1370	71.4	35.0	42.4	47.2	50.6	53.3	55.7	57.2	58.2	58.8	59.3	59.6	60.0	60.4	60.7	60.7	60.5	60.1	59.3	58.1	56.5	54.6	52.6	50.9	50.4
ML_EO_i_2	3857	0	66.6	34.6	42.4	46.3	47.9	48.6	49.0	49.6	50.5	51.8	53.3	54.8	56.1	57.1	57.5	57.4	56.6	55.4	53.7	51.7	49.3	47.0	44.4	41.3	37.7
ML_EO_i_3	8730	0	73.2	38.9	46.6	50.9	53.3	55.2	57.0	58.3	59.3	60.0	60.8	61.5	62.2	62.8	63.2	63.2	62.7	62.0	60.9	59.5	57.7	55.7	53.6	51.6	50.7
SB_EO_i_2	6238	0	68.7	36.7	44.5	48.4	50.0	50.7	51.1	51.7	52.6	53.9	55.4	56.9	58.2	59.2	59.6	59.5	58.7	57.5	55.8	53.7	51.4	49.1	46.5	43.4	39.8
SB_EO_i_3	6238	0	68.7	36.7	44.5	48.4	50.0	50.7	51.1	51.7	52.6	53.9	55.4	56.9	58.2	59.2	59.6	59.5	58.7	57.5	55.8	53.7	51.4	49.1	46.5	43.4	39.8
Tq_SN_d_1	6308	1819	73.4	38.1	45.6	50.2	53.0	55.4	57.5	58.9	59.9	60.5	61.1	61.6	62.2	62.7	63.0	63.0	62.7	62.1	61.2	59.9	58.2	56.3	54.2	52.4	51.7
Tq_SN_d_2	6308	1819	73.4	38.1	45.6	50.2	53.0	55.4	57.5	58.9	59.9	60.5	61.1	61.6	62.2	62.7	63.0	63.0	62.7	62.1	61.2	59.9	58.2	56.3	54.2	52.4	51.7
Tq_SN_d_3	6608	1519	73.0	38.0	45.6	50.1	52.7	54.9	56.9	58.3	59.3	60.0	60.6	61.2	61.8	62.4	62.7	62.7	62.3	61.7	60.7	59.4	57.6	55.7	53.6	51.8	51.0
Tq_SN_d_4	6608	1519	73.0	38.0	45.6	50.1	52.7	54.9	56.9	58.3	59.3	60.0	60.6	61.2	61.8	62.4	62.7	62.7	62.3	61.7	60.7	59.4	57.6	55.7	53.6	51.8	51.0
Tq_SN_i_1	8128	0	69.8	37.8	45.6	49.5	51.1	51.8	52.3	52.9	53.8	55.0	56.6	58.0	59.4	60.3	60.8	60.6	59.9	58.6	56.9	54.9	52.5	50.2	47.6	44.6	41.0
Tq_SN_i_2	8128	0	69.8	37.8	45.6	49.5	51.1	51.8	52.3	52.9	53.8	55.0	56.6	58.0	59.4	60.3	60.8	60.6	59.9	58.6	56.9	54.9	52.5	50.2	47.6	44.6	41.0
Tq_SN_i_3	8128	0	69.8	37.8	45.6	49.5	51.1	51.8	52.3	52.9	53.8	55.0	56.6	58.0	59.4	60.3	60.8	60.6	59.9	58.6	56.9	54.9	52.5	50.2	47.6	44.6	41.0
Tq_SN_i_4	8128	0	69.8	37.8	45.6	49.5	51.1	51.8	52.3	52.9	53.8	55.0	56.6	58.0	59.4	60.3	60.8	60.6	59.9	58.6	56.9	54.9	52.5	50.2	47.6	44.6	41.0

Posteriormente se procede con la Ejecución del modelo, acorde al código de la función especificada en el Apéndice A.4. Programa Principal. Ejecución del modelo, a saber:

```
function [dataModelo] = EjecutarModelo ( numeroFuentes, ruidoFuentes, IMDFuente, receptores,
elevacionReceptor, distanciaMinima, anguloVision, paraetrosMeteorologicos, absorcionAire,
tipoMaterial,
mapaBase)
```

Obteniendo como resultado, la matriz de resultados que ha sido procesada en forma de mapa, el mismo que se observa en la siguiente ilustración

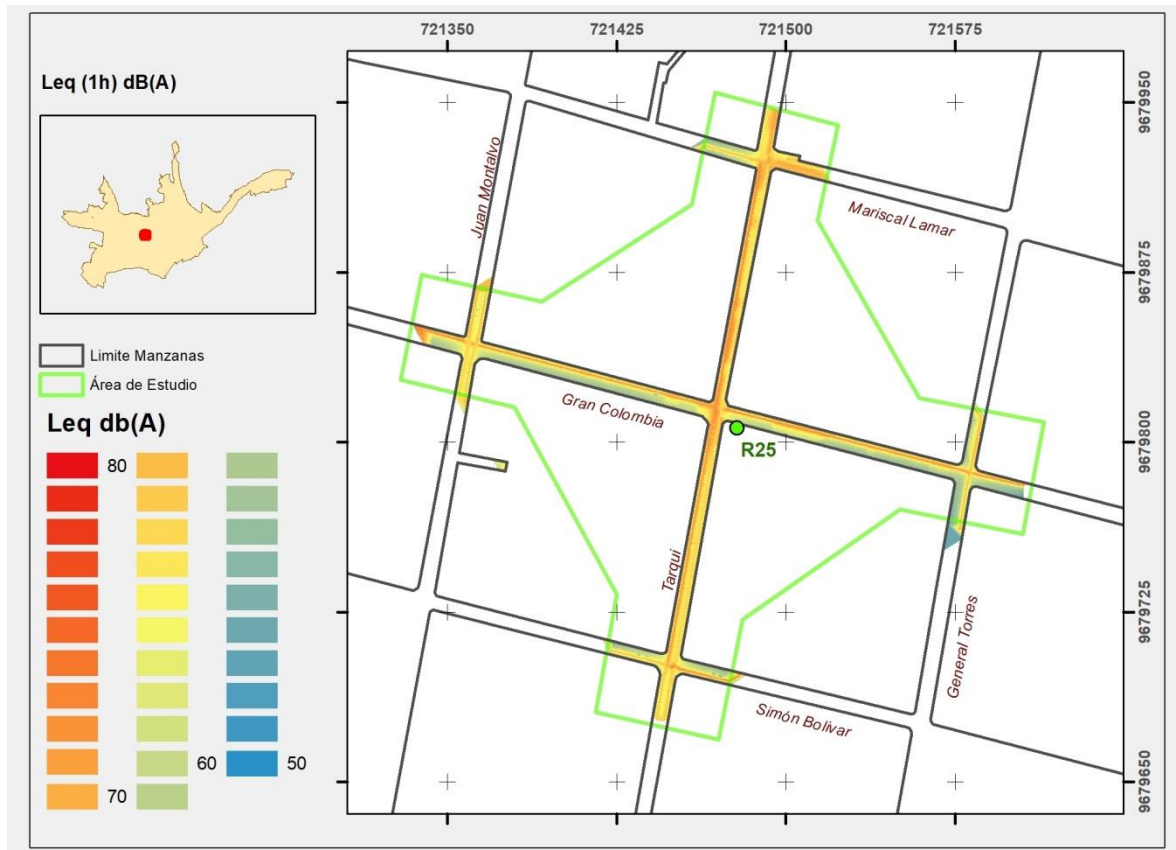


Ilustración 17 Mapa de Ruido

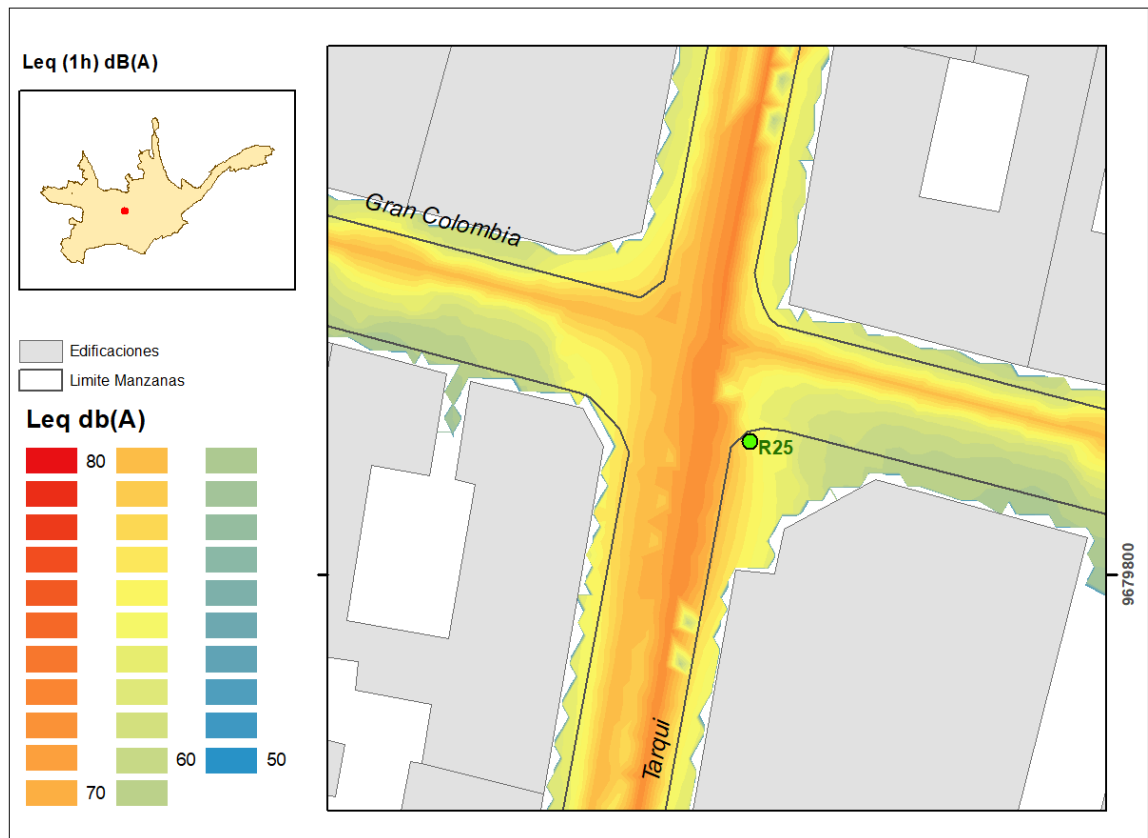


Ilustración 18 Mapa de Ruido ampliado para la intersección Tarqui y Gran Colombia

5.2. Monitoreo y Validación

5.2.1. Comprobación de los niveles de emisión

Para la comprobación de los niveles de emisión se realizó la comprobación con los monitoreos de 15 minutos en 9 horas diferentes en las Calles Tarqui y Gran Colombia, los resultados completos de estos muestreos se encuentran en el Apéndice B.1 Resultados de Monitoreos.

A continuación la Tabla 13 resume únicamente los datos para validación. Donde se observa que existe una diferencia +0.72 dB(A) para la calle Tarqui y de +0.58 dB(A) para la calle Gran Colombia. Cabe destacar que en el caso particular de la Calle Gran Colombia el modelo simula el tráfico en el carril derecho, pero debido a trabajos del tranvía al momento de la medición el tráfico se concentra en el lado izquierdo, por ello se debe añadir el factor de atenuación, ya que la medición se realiza al lado derecho.

Tabla 13 Comparación emisiones obtenidas vs Monitoreo Específico

MONITOREO										
Ruido Residual										
	7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00				Promedio
Global	59.1	68.6	63.5	66.2	65.8	63.6				65.35
Ruido Total - Emisión										
	6h00	7h00	8h00	12h00	13h00	14h00	18h00	19h00	20h00	Promedio
Tarqui	72.3	72.1	71.5	74.4	73.9	74.3	74.2	74.1	72.2	73.36
Gran Colombia	64.5	66.2	65.1	65.4	64.8	66.2	66.5	63.3	63.3	65.17

MODELO									
	Carril Izquierdo	Carril Derecho	Atenuación geométrica	Promedio	Corrección Residual	Total			Diferencia
Tarqui	69.6	73.4	14.5	73.46	65.35	74.08			+ 0.72
Gran Colombia	69.7		14.5	55.2	65.35	65.75			+ 0.58

5.2.2. Comprobación de nivel de inmisión

Las mediciones realizadas en la presente trabajo se comparan con los datos obtenidos por [13] durante los años 2012 a 2017:

Tabla 14 Monitoreo de Ruido de la Ciudad de Cuenca dB(A)

Año	7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00	Leq
2017	73.2	72.4	71.9	71.2	72.7	70.7	72.1
2016	69.5	66.5	71.5	66.6	68.7	62.9	68.39
2015	73.6	74.5	72.4	78.7	72.5	71.4	74.63
2014	73.5	72.2	72.1	71	74.5	69.8	72.45
2012	74.1	69.8	72.2	68.4	69.3	66.6	70.78
Leq	73.05	71.83	72.03	73.48	72.07	69.2	72.13

Los resultados completos de las mediciones se encuentran en el Apéndice B.2 Resultados de Monitoreo, a continuación la tabla muestra los datos obtenidos para LK_{eq}

Tabla 15 Resumen de resultados LK_{eq} monitoreo

Año	7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00	Leq
2018	72.4	71.9	70.5	73.0	72.1	70.6	71.84
Diferencia	0.65	-0.07	1.53	0.48	-0.03	-1.4	0.29

Como se observa los datos del monitoreo concuerdan con los datos obtenidos por [13], la mayor diferencia es a las 21h00 donde se obtiene el valor de -1.6 dB, a pesar de ello está dentro del rango normal de incertidumbre.

El resultado final para la simulación de nivel de presión sonora en el punto R25 es el siguiente:

Tabla 16 Resumen de resultados LK_{eq} modelo

Resultado modelo	Residual (Monitoreo)	Total Modelado
65.77 dB(A)	65.35 dB(A)	68.58 dB(A)

Como se observa la diferencia entre el monitoreo (71.84 dBA) y el modelado (68.58 dBA) es de 3.26 dBA, valor que está dentro de las limitaciones del modelo el mismo que es de -1 dB(A) con una desviación estándar de 3.7 dB(A) [4], [8]. Sin embargo es interesante notar que los datos de alimentación del modelo son del año 2012 y 2016, años en los que los valores de L_{eq} medidos fueron menores, en particular el modelo coincide con el año 2016 donde la diferencia es de apenas 0.32 dBA, por lo que se afirma que el modelo trabaja correctamente.

6. CONCLUSIONES

El modelo de predicción y propagación HARMONOISE P2P (point to point) que es distribuido como librerías de lenguaje de programación C, ha sido el utilizado para la generación del mapa de ruido producido por el tráfico vehicular en el Centro Histórico de Cuenca, para vincular aquellas librerías se utilizó el software MATLAB es cual provee un ambiente computacional numérico, con lo cual se generaron los algoritmos de cálculo respectivos. El área de estudio se restringe a la zona de las Calles Gran Colombia y Tarqui en el Centro Histórico de Cuenca, extendiéndose a un diámetro de 250 m y se utilizó el indicador $L_{eq}(1h)$ para comprobar los resultados. La vinculación entre librerías en las pruebas preliminares y en el mapeo punto por punto resultaron satisfactorias.

Referente al modelo de predicción se utilizaron las bases de datos de HARMONOISE y ajustándolas con datos adicionales del modelo Nórdico en casos particulares. Del modelo se obtuvo un valor de 73.4 dB(A) para el carril derecho de la calle Tarqui, y de 69.6 dB(A) para el carril izquierdo, y en el caso de la calle Gran Colombia un valor de 69.7 dB(A) para la calle Gran Colombia, además se condujeron un total de 9 monitoreos por cada calle, en diferentes horarios obteniendo un valor medio de 73.36 [72.1; 74.3] dB(A) para la calle Tarqui y de 65.17 [63.3; 66.5] para la calle Gran Colombia, una vez ajustados los valores debido a la Atenuación geométrica y a la corrección por Ruido Residual se contó con una diferencia de +0.72 y +0.58 dB(A) para la calle Tarqui y Gran Colombia respectivamente. Con ello se concluye que el modelo de predicción es adecuado.

Respecto al modelo de propagación se utilizó el modelo HARMONOISE P2P, se generó una malla de 1m x 1m en todas las calles y veredas, a una altura de 0.5 m para la obtención de resultados, con lo que se generó el mapa de ruido de la zona. Para comprobar la efectividad del modelo se validó el resultado en un punto del cual se disponían datos históricos desde el año 2012, y además se condujo un total de 6 monitoreos adicionales. El resultado para el punto denominado R25 fue de 68.58 dB(A) para el modelo y de 71.84 dB(A) como media de los monitoreos realizados y de 72.13 [68.39; 74.63] dB(A) para los datos históricos, la diferencia de -3.26 dB(A) está dentro del rango incertidumbre del modelo que es de -1 [\pm 3.7] dB(A). Con lo cual, se concluye que el modelo de propagación resulta también adecuado aunque subestima el valor de inmisión.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Henk de Kluijver y Jantien Stoter, «Noise mapping and GIS: optimising quality and efficiency of noise effect studies», *Comput. Environ. Urban Syst.*, oct. 2001.
- [2] E. Murphy y E. King, «Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy», *Environ. Noise Pollut. Noise Mapp. Public Health Policy*, pp. 1-268, ene. 2014.
- [3] Parlamento Europeo, *Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental - Declaración de la Comisión ante el Comité de Conciliación de la Directiva sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*. 2002.
- [4] G. Dutilleul, «Road traffic noise», en *Noise mapping in the EU. Models and Procedures*, CRC Press, 2013.
- [5] P. de Vos, «Railway noise», en *Noise mapping in the EU. Models and Procedures*, CRC Press, 2013.
- [6] J. R. White, «Industrial and harbour noise», en *Noise mapping in the EU. Models and Procedures*, CRC Press, 2013.
- [7] R. Bütikofer, «Airport noise», en *Noise mapping in the EU. Models and Procedures*, CRC Press, 2013.
- [8] E. Salomons, D. van Maercke, J. Defrance, y F. de Roo, «The Harmonoise Sound Propagation Model», *Acta Acust. United Acust.*, vol. 97, n.º 1, pp. 62-74, ene. 2011.
- [9] International Organization for Standardization, *ISO 9613-2:1996 Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 2: General method of calculation*, vol. 9613. 1996.
- [10] Ministerio de Salud Pública, *Reglamento para la Prevención y control de la Contaminación Ambiental originada por la emisión de ruidos*. 1990.
- [11] Ministerio de Ambiente, *Límites Permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas, fuentes móviles y vibraciones*. 2003.
- [12] Ministerio de Ambiente, *Niveles Máximos de Emisión de Ruido y Metodología de Medición para fuentes fijas y fuentes móviles y Niveles*, vol. 387. 2015.
- [13] Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador -IERSE- y Comisión de Gestión Ambiental -CGA-, «Sistema de Monitoreo del Ruido Ambiente en Cuenca». [En línea]. Disponible en: <http://gis.uazuay.edu.ec/ide2015/ruido.php>. [Accedido: 01-may-2017].
- [14] J. M. Martínez Gavilanes, «Evaluación del ruido en Cuenca a 2015», *ACI Av. En Cienc. E Ing.*, vol. 9, n.º 15, abr. 2017.
- [15] García Tobar, Oswaldo y Llerena Salinas, Misael, «Análisis de los impactos en seguridad, medio ambiente y congestión del tráfico, generados por el transporte urbano dentro de la ciudad de Cuenca», 2011.
- [16] N. S. Durazno Moscoso y D. M. Peña Durán, «Influencia de las actividades humanas cotidianas en la contaminación acústica de la zona de regeneración urbana de la ciudad de Cuenca», B.S. thesis, 2011.
- [17] J. S. Gordillo Gordillo y L. Guaraca Ochoa, «Determinación de niveles de presión sonora (NPS) generados por las aeronaves, en el sector sur del aeropuerto Mariscal Lamar de la ciudad de Cuenca», B.S. thesis, 2015.
- [18] H. Haro Zúñiga, «Estimación de las emisiones contaminantes de vehículos con motor de encendido provocado mediante análisis de ruido a través de herramientas de clasificación de aprendizaje», 2017.
- [19] J. Feijoo Ullauri y J. Zapatán Baculima, «Elaboración de una base de datos a partir de las características de señales de ruido del motor de combustión interna alternativo, obtenidas del proceso de Revisión Técnica Vehicular y su relación con las emisiones contaminantes», 2016.

- [20]O. Delgado y J. Martínez, «Elaboración del mapa de ruido del área urbana de la Ciudad de Cuenca – Ecuador, empleando la técnica de interpolación geoestadística Kriging ordinario», *Cienc. Espac.*, vol. 8, n.º 1, pp. 411-440, ago. 2015.
- [21]C. M. Harris, «Introducción», en *Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido*, Tercera., vol. 1, 2 vols., C. M. Harris, Ed. Mc Graw Hill.
- [22]J. M. Querol i Noguera, *Manual de mesurament i avaluació del soroll*, Primera. Generalitat de Catalunya, 1994.
- [23]«Velocidad del sonido», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 16-oct-2014.
- [24]Harris, Thomas Frederick, *Handbook of acoustics. For the Use of Musical Students*. Londres: J. Curwen & sons, 1913.
- [25]International Organization for Standardization, *ISO 25417:2007 Acoustics - Definitions of basic quantities and terms*, vol. 25417. 2007.
- [26]International Organization for Standardization, *ISO 80000-8:2007 Quantities and Units - Part 8: Acoustics*, vol. 80000-8. 2007.
- [27]«Sound Power», *The Engineering ToolBox*. .
- [28]«Sound pressure», *Wikipedia*. 07-ene-2018.
- [29]International Electrotechnical Commission, *IEC 61672-1:2013 Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications*, vol. 61672-1. 2013.
- [30]Acoustical Society of America, *ANSI S1.4-1985 American national specification for sound level meters*, vol. 226. 2003.
- [31]International Organization for Standardization, *ISO 226:2003 Acoustics. Normal equal-loudness-level contours*, vol. 226. 2003.
- [32]S. N. Y. Gerges y J. P. Arenas, *Fundamentos y control del ruido y vibraciones*. NR, 2004.
- [33]J.E. Piercy y G.A. Daigle, «Propagación del Sonido al aire libre», en *Manual de medidas acusticas y Control del Ruido*, 3.ª ed., vol. 1, 2 vols., McGraw-Hill, 1995.
- [34]E. Falch, «Guía ambiental. Manejo de problemas de ruido en la industria minera», Ministerio De Energía y Minas, República del Perú & Dirección General de Asuntos Ambientales, Bergen/Lima, Perú, 1997.
- [35]J. Stevens, «Cuantificación del Impacto Acústico de las Plantas de Proceso en el Sistema de Monitoreo Continuo de Ruido de Enap Refinerías S.A., Refinería Bío-Bío», 2008.
- [36]International Organization for Standardization, *ISO 9613-1:1996Acoustics. Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.*, vol. 9613. 1996.
- [37]International Organization for Standardization, *ISO 1996-1: Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise- Part1: Basic quantities and assessment procedures*, vol. 1996. 2003.
- [38]International Organization for Standardization, *ISO 1996-2: Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise- Part 2: Determination of environmental noise levels*, vol. 1996. 2007.
- [39]Department of Industry Innovations and Science - Australian Government, «Meteorological effects on the propagation of noise». [En línea]. Disponible en: <https://industry.gov.au/resource/Programs/LPSD/Airborne-contaminants-noise-and-vibration/Noise/Pages/Meteorological-effects-on-the-propagation-of-noise.aspx>. [Accedido: 12-may-2018].
- [40]F. Guzmán, «Implementación de una red de monitoreo continuo de ruido en ENAP Refinerías Bio Bio», Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2006.
- [41]W. Probst, «Uncertainty and quality assurance in simulation software», en *Noise mapping in the EU. Models and Procedures*, CRC Press, 2013.
- [42]C. Steele, «A critical review of some traffic noise prediction models», *Appl. Acoust.*, vol. 62, n.º 3, pp. 271-287, mar. 2001.

- [43]Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et du Tourisme, «Bruit des infrastructures routières: Méthode de calcul incluant les effets météorologiques (NMPB-Routes-1996)», Francia, 1997.
- [44]CETUR, «Guide de bruit des tranports terrestres - Prévision des niveaux sonores», 1980.
- [45]F. Besnard *et al.*, *Road noise prediction - 1 Calculating sound emissions from road traffic*. 2011.
- [46]G. Dutilleux *et al.*, *Road noise prediction 2 - Noise propagation computation method inclu ding meteorological effects (NMPB 2008)*. 2009.
- [47]U.S. Department of Transportation, *Federal Highway Administration's Traffic Noise Model (FHWA TNM)*. Estados Unidos, 2004.
- [48]Nord2000 Group, «Nord2000. Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model. Part 2: Propagation in an Atmosphere with Refraction», dic. 2000.
- [49]Dutch Ministry of Housing, Soacial Planning and Environment, «Annex 4 Railway to the Calculation and Measurement Scheme Noise.», 2006.
- [50]T. Thron y M. Hecht, «The sonRAIL emission model for railway noise in Switzerland», *Acta Acust. United Acust.*, vol. 96, pp. 873-883, sep. 2010.
- [51]S. Sakamoto, «Road traffic noise prediction model "ASJ RTN-Model 2008" proposed by the Acoustical Society of Japan - Part 3: Calculation model of sound propagation», may 2018.
- [52]C. E. Hanson, D. A. Towers, y L. D. Meister, «Transit Noise and Vibration Impact Assessment», may 2006.
- [53]DELTARAIL B.V., «Improved Methos for the Assessment of the Generic Impacto of Noise in the Environment.», IMAGINE, The Netherlands, 203549, oct. 2012.
- [54]US-FAA, ATAC Cooperation, y DOT/VNST, *Integrated Noise Model -INM*. Estados Unidos, 2007.
- [55]U.S. Department of Transportation, *Aviation Environmental Design Tool AEDT*. Estados Unidos, 2017.
- [56]ECAC.CEAC, «Report on Standard Mehod of Computing Noise Contours around Civil Airports», Francia, dic. 2016.
- [57]AzB, «Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen: Erste Verordnung zur Durchführung des Gesetztes zum Schutz gegen Fluglärm», Alemania, 566/08, jul. 2008.
- [58]R. Klæboe, E. Engelen, y M. Steinnes, «Context sensitive noise impact mapping», *Appl. Acoust.*, vol. 67, n.º 7, pp. 620-642, jul. 2006.
- [59]É. M. Scariot, P. Filho, A. Conceição, T. G. Torres, y A. C. B. Victório, «O uso de geotecnologias na elaboração de mapas de ruído», *Eng. Sanit. E Ambient.*, vol. 17, n.º 1, pp. 51-60, mar. 2012.
- [60]D. Manvell, «Maps and geographic information systems in noise management», en *Noise mapping in the EU. Models and Procedures*, CRC Press, 2013.
- [61]J. L. Cueto y G. Licitra, «Geographic information system tools for noise mapping», en *Noise mapping in the EU. Models and Procedures*, CRC Press, 2013.
- [62]IMAGINE, «Specifications for GIS-Noise databases. Work package 1. Deliverable 4. Document IMA10-TR250506-CSTB05». 2007.
- [63]P. A. Bell, T. C. Greene, J. D. Fisher, y A. Baum, *Environmental psychology*, 4th ed. Orlando, FL, US: Harcourt, 1996.
- [64]H. M. E. Miedema y Nederlands instituut voor praeventieve gezondheidszorg TNO TNO Preventie en Gezondheid, «Response functions for environmental noise in residential areas». TNO, 01-ene-1992.
- [65]European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise, «Good practice guide for strategic noise mapping and the production of associated data on noise exposure». 2006.
- [66]Josep Simona, Juan Jorge, y Jordi Mulet, «Compartiva de nuevos modelos europeos de predicción de niveles de ruido de tráfico rodado», *41 Congr. Nac. Acústica*, 2010.

- [67]Fink Heinrich, Peter Gerald, Wolf-Dieter Vogl, David Schwendemann, y Roman Hochstöger, *HARMONOISE 3D noise mapping*. .
- [68]Hans Jonasson, «Acoustic Source Modelling of Nordic Road Vehicles», Suecia, abr. 2006.
- [69]Hans Jonasson, Ulf Sandberg, Gijsjan van Blokland, Jurek Ejsmont, Greg Watts, y Marcello Luminari, «Source modelling of road vehicles», Technical Report HAR11TR-04110-SP10, dic. 2004.
- [70]H. L. Nielsen, *Road Traffic Noise: Nordic Prediction Method*. Nordic Council of Ministers, 1997.
- [71]Gobierno Autónomo Cantonal de Cuenca, «Plan de Movilidad y Espacios Públicos», 2016.
- [72]Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, «Revitalización del Centro Histórico de Quito», Ecuador, 2013.
- [73]Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables y Universidad Politécnica Salesiana, «Información Meteorológica del cantón Cuenca». [En línea]. Disponible en: <http://redenti.ups.edu.ec:8086/iner/faces/index.xhtml>. [Accedido: 16-may-2017].
- [74]Dirk Van Maercke, «Programming the Point-to-Point Propagation Model», HAR34TR-04114-CSTB01, nov. 2004.
- [75]Ruben Jerves Cobo y Freddy Armijo Arcos, «Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca - Ecuador», *La Granja*, vol. 23, n.º 1, pp. 28-38, jun. 2016.
- [76]Gobierno Autónomo Cantonal de Cuenca, «Geovisor Municipal. Infraestructura de Datos Espaciales». [En línea]. Disponible en: <http://ide.cuenca.gob.ec/geovisor/home.seam>. [Accedido: 16-may-2017].
- [77]MathWorks, *Matlab R2013a*. 2013.

8. APÉNDICES

APENDICE A

CODIGO PROGRAMACIÓN

A.0. Programas de inicialización del modelo de propagación

Ejemplo 1 Comprobación de funcionamiento mediante la variación de parámetros

```
% Freddy Armijos A 2017
% Ejemplo 1. Comprobación de variación de parámetros/

% Asociación con librerías MEX-P2P
clear;
addpath('..\..\librerias/mex');

% Declaración de variables
%Parámetros meteorológicos Matriz de :x3
%(:,1) = Velocidad del viento en m/s (double) - siempre positiva
%(:,2) = Coseno del ángulo de propagación.
% 0° implica Dirección del Viento = Dirección de Propagación (double)
%(:,3) = Indicador Estabilidad térmica (int). Viene definida por:
% Index Descripción Nubosidad(octas)
% 0 Día - Sin nubes 0 - 2
% 1 Día - Medianamente nublado 3 - 5
% 2 Día - Nublado 6 - 8
% 3 Noche - Medianamente a muy nublado 5 - 8
% 4 Noche - Pocas o ninguna nube 0 - 4

meteoParam = [2.0 0.5 1.0];

%Absorción del Aire Matriz de :x2
%(:,1) = Temperatura del aire en °C
%(:,2) = Humedad relativa en %

airAbsorption = [25.0 50.0];

%Ubicación de la fuente y el receptor (Altura y delta altura)

sourceHeight = [1 0.1]; %la rutina de cálculo exige que los valores de altura no sean 0
receiverHeight = [1.6 0.1]; %Altura de Receptor y delta Altura (Incertidumbre de altura)

%Geometría del trazado (2 dimensiones) d - z
%Dibujo del trazado. Matriz de :x3 a más de (:,1) = d y (:,2) = z incluye:
%(:,3) = Indicador de Impedancia del suelo. Definida como:
% Index Descripción del tipo de superficie Resistencia al flujo
% (kNsm-4)
% 0 Valor default 500
% 1 Muy suave (nieve) 12.5
% 2 Suelo de forestal suave (musgo) 31.5
% 3 Tierra suelta no compactada (hierba) 80
% 4 Tierra sin compactar normal (pasto) 200
% 5 Suelo compactado/grava (césped-parques) 500
% 6 Compactado denso (carretera de tierra) 2000
% 7 Superficie dura (asfalto, concreto, agua) 20000
% >7 A definir en los subprocesos y librerías 500

G{1} = [0.0 0.0 5.0; 50.0 0.0 5.0];
G{2} = [0.0 0.0 5.0; 3.0 0.0 5.0; 3.0 4.0 7.0; 3.1 4.0 7.0; 3.1 0.0 5.0; 50.0 0.0 5.0];

%Frecuencias analizadas en las subrutinas (Constante)
frequencies = [25 31.5 40 50 63 80 100 125 160 200 250 315 400 500 630 800 1000 1250 1600 2000 2500
3150 4000 5000 6300 8000 10000];
%Factor de ponderación A (audible para el humano) por frecuencia
A_weight = [-44.7 -39.4 -34.6 -30.2 -26.2 -22.5 -19.1 -16.1 -13.4 -10.9 -8.6 -6.6 -4.8 -3.2 -1.9 -0.8
0.0 0.6 1.0 1.2 1.3 1.2 1.0 0.5 -0.1 -1.1 -2.5];

%Ruido de la fuente
Lsource = [85.9 87.7 87.6 87.7 96.6 97.2 91.8 88.1 87.9 86.4 86.8 86.8 97.0 86.9 88.4 89.5 90.1 90.4
90.2 88.8 87.0 84.7 82.2 79.9 78.3 76.1 73.7]; %Fuente mixta equivalente a trafico pesado con
vehiculos livianos
Lsource_A=10*log10(10.^((A_weight+Lsource)./10));
Lsource_dBA= 10*log10(sum(10.^(Lsource_A./10)));

% Inicio de cálculo y exposición de resultados
%Llamado a la subrutina p2pcalc para el calculo de atenuaciones
%p2pcalc requiere 1 Vector de la altura de fuente (sourceHeight)
% 2 Vector del receptor (receiverHeight)
% 3 Matriz de Nx3 del trazado (G)
% 4 Vector de parámetros meteorológicos (meteoParam)
% 5 Vector de absocion del aire (airAbsorption)

atenua{1} = p2pcalc(sourceHeight(1,:),receiverHeight(1,:),G{1},meteoParam(1,:),airAbsorption(1,:));
atenua{2} = p2pcalc(sourceHeight(1,:),receiverHeight(1,:),G{2},meteoParam(1,:),airAbsorption(1,:));

Latenua_A{1}=10*log10(10.^((A_weight+atenua{1})./10));
Latenua_A{2}=10*log10(10.^((A_weight+atenua{2})./10));

sourceCoord = [G{1}(1,1), G{1}(1,2)+sourceHeight(1)];
receiverCoord = [G{1}(end,1), G{1}(end,2)+receiverHeight(1)];
distRecSou = norm(receiverCoord-sourceCoord);
```

```

Ldistance_A = 10*log10(4*pi*(distRecSou^2)); %Tomado como propagación esférica

Lreceiver_A{1} = Lsource_A + Latenua_A{1} - Ldistance_A;
Lreceiver_A{2} = Lsource_A + Latenua_A{2} - Ldistance_A;

Lreceiver_dbA{1}= 10*log10(sum(10.^(Lreceiver_A{1}./10)));
Lreceiver_dbA{2}= 10*log10(sum(10.^(Lreceiver_A{2}./10)));

figure('Name','Fuente (Rojo), Receptor sin muro (azul), Receptor con muro (verde)');
semilogx (frequencies, Lsource_A,'red');
hold on
semilogx (frequencies, Lreceiver_A{1},'blue');
semilogx (frequencies, Lreceiver_A{2},'green');
xlabel('frecuencia - Hz');
ylabel('L - dBA');
hold off

```

Ejemplo 2. Comprobación de funcionamiento de mallas y sumas logarítmicas

```

% Freddy Armijos A 2017
% Ejemplo 2 Comprobación de mallas, escalas de colores y sumas logarítmicas

clear;

meteoParam = [1.0 -1.0 0.0]; %Sin viento, día soleado

%Absorción del Aire Matriz de :x2
%(:,1) = Temperatura del aire en °C
%(:,2) = Humedad relativa en %

airAbsorption = [25.0 100.0];

%Ubicación de la fuente y el receptor (Altura y delta altura)

sourceHeight = [5 0.01]; %Constante

frequencies = [25 31.5 40 50 63 80 100 125 160 200 250 315 400 500 630 800 1000 1250 1600 2000 2500
3150 4000 5000 6300 8000 10000];
A_weight = [-44.7 -39.4 -34.6 -30.2 -26.2 -22.5 -19.1 -16.1 -13.4 -10.9 -8.6 -6.6 -4.8 -3.2 -1.9 -0.8
0.0 0.6 1.0 1.2 1.3 1.2 1.0 0.5 -0.1 -1.1 -2.5];

%Ruido de la fuente
Lsource = [85.9 87.7 87.6 87.7 96.6 97.2 91.8 88.1 87.9 86.4 86.8 86.8 97.0 86.9 88.4 89.5 90.1 90.4
90.2 88.8 87.0 84.7 82.2 79.9 78.3 76.1 73.7]; %Fuente mixta equivalente a trafico pesado con
vehiculos livianos
Lsource_A=10*log10(10.^((A_weight+Lsource)./10));
Lsource_dBA= 10*log10(sum(10.^(Lsource_A./10)));

%Falta agregar algún controlador para cuidar el tamaño
xlong = 200;
ylong = 35;
xstep = 1;
ystep = 1;
[Xmesh, Ymesh] = meshgrid(0:xstep:xlong, 0:ystep:ylong);
DBA_mesh = zeros(ylong/ystep +1, xlong/xstep +1); %Al revés el X y Y
for x=0:xstep:xlong
    for y=0:ystep:ylong
        G = [0.0 0.0 5.0; x+0.01 0 5.0];
        receiverHeight = [y+0.01 0.01];
        atenua = p2pca1c(sourceHeight,receiverHeight,G,meteoParam,airAbsorption);
        Latenua_A=10*log10(10.^((A_weight+atenua)./10));
        sourceCoord = [G(1,1), G(1,2)+sourceHeight(1)];
        receiverCoord = [G(end,1), G(end,2)+receiverHeight(1)];
        distRecSou = norm(receiverCoord-sourceCoord);
        Ldistance_A = 10*log10(4*pi*(distRecSou^2));
        Lreceiver_A = Lsource_A + Latenua_A - Ldistance_A;
        Lreceiver_dbA = 10*log10(sum(10.^(Lreceiver_A./10)));
        DBA_mesh(y/ystep+1,x/xstep+1) = Lreceiver_dbA; %Al revés X y Y
    end
end

pcolor (Xmesh, Ymesh, DBA_mesh);
shading interp
hold on
[C,h] = contourf (Xmesh, Ymesh, DBA_mesh,[0:10:100],'white');
text_handles = clabel (C,'FontSize',7,'Rotation',90);
set(text_handles, 'Color', 'white');
hold off

```

Ejemplo 3. Prueba original de las librerías tomado de Heirink Finch et al.

```

% Copyright (c) 2008 Heinrich Fink, David Schwendemann, Wolf-Dieter Vogel,

```

```

% Gerald Peter, Roman Hochst?ger
%
% Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy
% of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal
% in the Software without restriction, including without limitation the rights
% to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell
% copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is
% furnished to do so, subject to the following conditions:
%
% The above copyright notice and this permission notice shall be included in
% all copies or substantial portions of the Software.
%
% THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR
% IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY,
% FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE
% AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER
% LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM,
% OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN
% THE SOFTWARE.

clear;
addpath('..external');
addpath('..mex');
%This was the preparation example for the heightmap-case

%Define a 2D terrain profile (same along the Y-Axis)

%NOTE: [Y, Z, impedance ID]
%this is the profile for the y-axis

terrain = [0.0 0.0 5.0;
           10.0 0.0 5.0;
           20.0 0.0 1.0;
           40.0 4.0 1.0;
           60.0 4.0 1.0;
           65.0 0.0 5;
           68.0 0.0 5;
           95.0 6.0 5.0
           100.0 6.0 5.0];

%this is the sourceline, finit polyline
%NOTE [X, Y, Z] polylines
sources = [0.0,10.0,2.0;
           100.0,10.0, 2.0;
           100, 0.0, 2.0];

meteoParam(1,:) = [0.0 0.0 1.0];
airAbsorption(1,:) = [25.0 50.0];

Lsource = vehicles(80, 100, 1);

% setup the mesh grid
% could you automize these parameters?

WIDTH = 100;
HEIGHT = 100;
STEPSize = 2;
MAXVIEW = 10*pi/180;
P2PSAMPLERATIO = 3;

[Xmesh, Ymesh] = meshgrid(0:STEPSize:WIDTH, 0:STEPSize:HEIGHT);
Zmesh = zeros(HEIGHT/STEPSize+1, WIDTH/STEPSize +1);
Matmap = zeros(HEIGHT/STEPSize+1, WIDTH/STEPSize +1);

%Create the (graphical) terrain mapping
for rowI = 1:(size(terrain,1)-1)

    %calculate elevation
    k = ( terrain(rowI, 2)-terrain(rowI+1, 2) ) / ( terrain(rowI, 1)-terrain(rowI+1, 1) );
    d = terrain(rowI, 2) - k*terrain(rowI, 1);

    %catch special case of dist = 0
    if (( terrain(rowI, 1)-terrain(rowI+1, 1) ) == 0)
        for insertX = 1:(WIDTH/STEPSize + 1)
            Zmesh(round(terrain(rowI,1)/STEPSize) + 1, insertX) = terrain(rowI+1, 2);
            Matmap(round(terrain(rowI,1)/STEPSize) + 1, insertX) = terrain(rowI+1, 3);
        end
    else
        %set the correct data
        for insertX = 1:(WIDTH/STEPSize + 1)
            %WATCH OUT, ZMESH is indexed like Zmesh(Ycoord, Xcoord)

            Zmesh(round(terrain(rowI,1)/STEPSize)+1:round(terrain(rowI+1,1)/STEPSize), insertX) =
            Ymesh(round(terrain(rowI,1)/STEPSize)+1:round(terrain(rowI+1,1)/STEPSize),1)*k + d;
            Matmap(round(terrain(rowI,1)/STEPSize)+1:round(terrain(rowI+1,1)/STEPSize), insertX) =
            terrain(rowI,3);
        end
    end
end

```

```

        end

    end

    insertScatterIndex = 1;
    scatterData = zeros((HEIGHT/STEPSize + 1) * (WIDTH/STEPSize + 1), 4);
    tens = zeros(1, 27);
    tens(1, :) = 10;

    idxAllSegments = 0;

    for iX = 1:P2PSAMPLERATIO:(WIDTH/STEPSize)
        disp(['Processing: ', num2str(iX), '/', num2str((WIDTH/STEPSize))]);
        for iY = 1:P2PSAMPLERATIO:(HEIGHT/STEPSize)
            % for iY = 20:20
            %NOTE: receiver height is ALWAYS 1 m above terrain
            receiverCoord = [(iX-1)*STEPSize, (iY-1)*STEPSize, Zmesh(iY, iX)+0.01];
            for iSegment = 1:(size(sources,1)-1)

                Laccumulated = 0;

                pointSegments = SegmentSourceLine(receiverCoord, sources(iSegment, :),
sources(iSegment+1, :), MAXVIEW );
                idxAllSegments = idxAllSegments +1;
                if (idxAllSegments == 1)
                    allSegments = pointSegments;
                else
                    allSegments = vertcat(allSegments, pointSegments);
                end
                for iPointSegment = 1:(size(pointSegments, 1))

                    %calculate tao (see documentation) (note: ref dir = [0 1 0])
                    sourcepoint = pointSegments(iPointSegment, 1:3);
                    lsegment = pointSegments(iPointSegment, 4);

                    imgDir = sourcepoint - receiverCoord;
                    sourceReceiverDistance = norm(imgDir);
                    imgDir = imgDir/sourceReceiverDistance;
                    %tao = acos( imgDir(2) );

                    %check Y = range in profile geometry (from source to receiver)
                    checkedTerrain = zeros(1, 3);
                    insertedTerrainIndex = 1;

                    for iTerrain = 1:size(terrain, 1)
                        if (terrain(iTerrain, 1) > sourcepoint(2) && terrain(iTerrain, 1) <
receiverCoord(2))
                            checkedTerrain(insertedTerrainIndex, :) = terrain(iTerrain, :);
                            %convert to relative coords (sourcepoint has Y=0) and adjust projection for
propagation plane
                            checkedTerrain(insertedTerrainIndex, 1) = (sourcepoint(2) -
checkedTerrain(insertedTerrainIndex, 1) )/imgDir(2);
                            insertedTerrainIndex = insertedTerrainIndex + 1;
                        end
                    end

                    %NOTE: first point (source 0/0) is set implicitly, last point
                    %has to be set

                    checkedTerrain(insertedTerrainIndex, :) = [0, 0, 5.0];
                    checkedTerrain(insertedTerrainIndex, 1) = (sourcepoint(2) -
receiverCoord(2))/imgDir(2);
                    checkedTerrain(insertedTerrainIndex, 2) = receiverCoord(3);

                    Lexcess = p2pcalc([sourcepoint(3), 0.5], [receiverCoord(3), 0.5], checkedTerrain,
meteoParam, airAbsorption);

                    %calculate real values
                    Adiv = 10*log10(4*pi*(sourceReceiverDistance^2));

                    %TODO: is the scaling right?
                    Lreal = max((Lsource + 10*log10(lsegment)) + Lexcess - Adiv, 0);
                    Laccumulated = Laccumulated + tens.(Lreal./10);

                end
            end

            Laccumulated = 10*log10(Laccumulated);

            %mapLreal(iY, iX) = Laccumulated*0.01;
            scatterData(insertScatterIndex, 1:3) = receiverCoord;
            %fix that we always shift for 0.5
            scatterData(insertScatterIndex, 4) = a_weight(Laccumulated);
            insertScatterIndex = insertScatterIndex + 1;
        end
    end
end

```

```

a_weight(Laccumulated)
%Reemplazado WVisual por XVisual
figure1 = figure('WVisual',...
    '0x24 (TrueColor, depth 24, RGB mask 0xff0000 0xff00 0x00ff)',...
    'Colormap',[0.502 0.502 0.502;0.9059 0.9059 0.9059;0.8963 0.8963 0.8963;0.8868 0.8868
0.8868;0.8772 0.8772 0.8772;0.8677 0.8677 0.8677;0.8581 0.8581 0.8581;0.8486 0.8486 0.8486;0.839
0.839 0.839;0.8295 0.8295 0.8295;0.8199 0.8199 0.8199;0.8104 0.8104 0.8104;0.8008 0.8008
0.8008;0.7913 0.7913 0.7913;0.7817 0.7817 0.7817;0.7722 0.7722 0.7722;0.7626 0.7626 0.7626;0.7531
0.7531 0.7531;0.7435 0.7435 0.7435;0.734 0.734 0.734;0.7244 0.7244 0.7244;0.7149 0.7149 0.7149;0.7053
0.7053 0.7053;0.6958 0.6958 0.6958;0.6862 0.6862 0.6862;0.6767 0.6767 0.6767;0.6671 0.6671
0.6671;0.6576 0.6576 0.6576;0.648 0.648 0.648;0.6385 0.6385 0.6385;0.6289 0.6289 0.6289;0.6194 0.6194
0.6194;0.6098 0.6098 0.6098;0.6003 0.6003 0.6003;0.5907 0.5907 0.5907;0.5812 0.5812 0.5812;0.5716
0.5716 0.5716;0.562 0.562 0.562;0.5525 0.5525 0.5525;0.5429 0.5429 0.5429;0.5334 0.5334 0.5334;0.5238
0.5238 0.5238;0.5143 0.5143 0.5143;0.5047 0.5047 0.5047;0.4952 0.4952 0.4952;0.4856 0.4856
0.4856;0.4761 0.4761 0.4761;0.4665 0.4665 0.4665;0.457 0.457 0.457;0.4474 0.4474 0.4474;0.4379 0.4379
0.4379;0.4283 0.4283 0.4283;0.4188 0.4188 0.4188;0.4092 0.4092 0.4092;0.3997 0.3997 0.3997;0.3901
0.3901 0.3901;0.3806 0.3806 0.3806;0.371 0.371 0.371;0.3615 0.3615 0.3615;0.3519 0.3519 0.3519;0.3424
0.3424 0.3424;0.3328 0.3328 0.3328;0.3233 0.3233 0.3233;0.3137 0.3137 0.3137]);

surf (Xmesh, Ymesh, Zmesh, Matmap, 'DisplayName', 'X, Y, Z');
hold on;
%freezeColors;
plot3(sources(:, 1), sources(:, 2), sources(:, 3), 'LineWidth', 5)
% scatter3(allSegments(:, 1), allSegments(:, 2), allSegments(:, 3),
% 130.0,'Marker','d', 'MarkerFaceColor', 'red');
colormap('jet');
plot3k(scatterData(:, 1:3),scatterData(:, 4),{'o',8},1,[0 100]);%{'Peaks'},
'FontName','Arial','FontSize',12,'FontWeight','Bold');
axis square; grid on
hold off;

```

Ejemplo 3. Prueba original de las librerías editado para el funcionamiento de dos fuentes

```

clear;
% ENSAYO 1. DIBUJO DE TERRENO PARA PRUEBAS EN 3D PARA 2 FUENTES
% Editado a partir de 2008 Heinrich Fink, David Schwendemann, Wolf-Dieter Vogel,
% Gerald Peter, Roman Hochst?ger

%Definir terreno en y-z e impedancia
terrain = [ 0.0 1.0 5.0;
5.0 0.0 5.0
35.0 0.0 4.0;
50.0 4.0 3.0;
60.0 4.0 4.0;
65.0 1.0 6.0;
75.0 1.0 4.0;
95.0 6.0 4.0
100.0 6.0 4.0];

X_mapa = 100;
Y_mapa = 100;
STEPSize = 2;
P2PSampleRatio = 3;

[Xmesh, Ymesh] = meshgrid(0:STEPSize:X_mapa, 0:STEPSize:Y_mapa);
Zmesh = zeros(X_mapa/STEPSize+1, Y_mapa/STEPSize +1);
Impd_map = zeros(X_mapa/STEPSize+1, Y_mapa/STEPSize +1);

% Creación del mapa del terreno (Ejercicio, creado vía matlab)
for rowI = 1:(size(terrain,1)-1)

    % Ecuación de la recta
    m = (terrain(rowI, 2)-terrain(rowI+1, 2)) / ( terrain(rowI, 1)-terrain(rowI+1, 1) );
    a = terrain(rowI, 2) - m*terrain(rowI, 1);

    % Set data con caso especial si dist = 0
    if ((terrain(rowI, 1)-terrain(rowI+1, 1) ) == 0)
        for insertX = 1:(X_mapa/STEPSize + 1)
            Zmesh(round(terrain(rowI,1)/STEPSize) + 1, insertX) = terrain(rowI+1, 2);
            Impd_map(round(terrain(rowI,1)/STEPSize) + 1, insertX) = terrain(rowI+1, 3);
        end
    else
        %set the correct data
        for insertX = 1:(X_mapa/STEPSize + 1)
            %OJO Z_mesh está indexado al revés(Ycoord, Xcoord)
            Zmesh(round(terrain(rowI,1)/STEPSize)+1:round(terrain(rowI+1,1)/STEPSize), insertX) =
            Ymesh(round(terrain(rowI,1)/STEPSize)+1:round(terrain(rowI+1,1)/STEPSize),1)*m + a;
            Impd_map(round(terrain(rowI,1)/STEPSize)+1:round(terrain(rowI+1,1)/STEPSize), insertX) =
            terrain(rowI,3);
        end
    end

end

```

```

end

% Source x,y,z
sourcePoint{1} = [25 10 2];
sourcePoint{2} = [75 10 2];

meteoParam(1,:) = [0.0 0.0 1.0];
airAbsorption(1,:) = [25.0 50.0];

Lsource{1} = [85.9 87.7 87.6 87.7 96.6 97.2 91.8 88.1 87.9 86.4 86.8 86.8 97.0 86.9 88.4 89.5 90.1
90.4 90.2 88.8 87.0 84.7 82.2 79.9 78.3 76.1 73.7]; %Fuente mixta equivalente a trafico pesado con
vehiculos livianos
Lsource{2} = [75.9 77.7 77.6 77.7 86.6 87.2 81.8 78.1 77.9 76.4 76.8 76.8 77.0 86.9 78.4 79.5 80.1
80.4 80.2 78.8 77.0 74.7 72.2 69.9 68.3 66.1 63.7];
A_weight = [-44.7 -39.4 -34.6 -30.2 -26.2 -22.5 -19.1 -16.1 -13.4 -10.9 -8.6 -6.6 -4.8 -3.2 -1.9 -0.8
0.0 0.6 1.0 1.2 1.3 1.2 1.0 0.5 -0.1 -1.1 -2.5];
Lsource_A{1}=10*log10(10.^(A_weight+Lsource{1})./10));
Lsource_A{2}=10*log10(10.^(A_weight+Lsource{2})./10));
Lsource_dBA{1}= 10*log10(sum(10.^(Lsource_A{1})./10));
Lsource_dBA{2}= 10*log10(sum(10.^(Lsource_A{2})./10));

receiverFlag = 0.5; %Altura de los receptores - por sobre el terreno

ToPlot_Index = 1;
ToPlot = zeros((X_mapa/STEPSIZE + 1) * (Y_mapa/STEPSIZE + 1), 4);

Lreceiver_A = 0;
matriz_10 = zeros(1,27);
matriz_10(1,:) = 10;

% Calculo (Inicio de rutina p2pcalc)
for iX = 1:P2PSampleRatio:(X_mapa/STEPSIZE)
    disp(['Procesando: ', num2str(iX), '/', num2str((X_mapa/STEPSIZE))]); %Mensaje de avance en
    cálculo

    for iY = 1:P2PSampleRatio:(Y_mapa/STEPSIZE)

        receiverCoord = [(iX-1)*STEPSIZE, (iY-1)*STEPSIZE, Zmesh(iY, iX)+0.01]; %Zmesh estaba
        indexado al reves / Programa no toma alturas de 0, por eso suma de 0.01

        Lreceiver_A = 0;
        for iS=1:2 %número de fuentes a analizar. TODO: Automatizar

            diffSourceReceiver = sourcePoint{iS} - receiverCoord;
            d_SourceReceiver = norm(diffSourceReceiver); %distancia Source - Receptor
            imgDir = diffSourceReceiver/d_SourceReceiver;

            Terrain2D = zeros(1, 3);
            Terrain2D_Index = 1;

            for iT = 1:size(terrain, 1)
                if (terrain(iT, 1) > sourcePoint{iS}(2) && terrain(iT, 1) < receiverCoord(2))
                    Terrain2D(Terrain2D_Index, :) = terrain(iT, :);
                    Terrain2D(Terrain2D_Index, 1) = (sourcePoint{iS}(2) -
                    Terrain2D(Terrain2D_Index, 1))/imgDir(2);
                    Terrain2D_Index = Terrain2D_Index + 1;
                end
            end

            Terrain2D(Terrain2D_Index, :) = [0, 0, 5.0];
            Terrain2D(Terrain2D_Index, 1) = (sourcePoint{iS}(2) - receiverCoord(2))/imgDir(2);
            Terrain2D(Terrain2D_Index, 2) = receiverCoord(3);

            Latenua = p2pcalc([sourcePoint{iS}(3), 0.5], [receiverCoord(3), 0.5], Terrain2D,
            meteoParam, airAbsorption);
            Latenua_A = 10*log10(10.^(A_weight+Latenua)./10));

            Ldistance_A = 10*log10(4*pi*(d_SourceReceiver^2));

            Lreceiver_A_parcial = Lsource_A{iS} + Latenua_A - Ldistance_A;
            Lreceiver_A = 10*log10((10.^(Lreceiver_A_parcial./10))+10.^(Lreceiver_A_parcial./10));

        end
    end
    if (Lreceiver_A ~= 0)
        Lreceiver_dbA = 10*log10(sum(10.^(Lreceiver_A./10)));
    end

    ToPlot(ToPlot_Index, 1:3) = receiverCoord;
    ToPlot(ToPlot_Index, 4) = Lreceiver_dbA;
    ToPlot_Index = ToPlot_Index + 1;
end
end

colormap ('gray')
surf (Xmesh, Ymesh, Zmesh, Impd_map);
hold on;

```

```

freezeColors;
scatter3(sourcePoint{1}(:, 1), sourcePoint{1}(:, 2), sourcePoint{1}(:, 3), 'red', '*');
scatter3(sourcePoint{2}(:, 1), sourcePoint{2}(:, 2), sourcePoint{2}(:, 3), 'red', '*');
colormap('jet');
% plot3k(ToPlot(:, 1:3), 'ColorData', ToPlot(:, 4), 'ColorRange', [0 100], 'Marker', {'o', 6});
plot3k(ToPlot(:, 1:3), ToPlot(:, 4), [0 100], 'o', 6);
axis square; grid on
hold off;

```

A.1. Cálculo de las Emisiones de Ruido Vehicular

```

% Calculo de Emisiones de Ruido Vehicular
% Copyright (C) 2017 Freddy Armijos Arcos

function [soundEnergy] = CalcularSoundEnergyVehiculo (categoriaVehiculo, velocidad, temperatura,
tipoPavimento)
% soundEnergy esta expresado en dBA acorde a las frecuencias de Salida configuradas
% freq = [25 31.5 40 50 63 80 100 125 160 200 250 315 400 500 630 800 1000 1250 1600 2000 2500 3150
4000 5000 6300 8000 10000]; % Bandas de 1/3 de octava

% categoriaVehiculo
% Permite elegir cual sería el tipo de vehiculo en el cual se calculará los niveles
% de emisión de ruido
% 1 == Livianos 2 ejes - 4 ruedas, i.e Autos, Camionetas
% 2 == Medio/Pesado 2 ejes - 6 ruedas, i.e Buses
% 3 == Pesado 4 ejes,

% velocidad
% Indica la velocidad de circulación en km/h

velocidadReferencia = 70;

% tipoPavimento
% Indica si se realiza corrección por el tipo de pavimento
% 0 == Sin correccion se basa en Pavimento promedio DAC
% 1 == Corrección para Paving Stones (empedrado)

%% ----- %%
% Coeficientes aR y bR para el Cálculo de Ruido por Rodamiento
% Coeficientes aP y bP para el Cálculo de Ruido por Propulsión
switch categoriaVehiculo
case 1
    %freq = [25 31.5 40 50 63 80 100 125 160 200 ...
    % 250 315 400 500 630 800 1000 1250 1600 2000 ...
    % 2500 3150 4000 5000 6300 8000 10000];
    aR = [69.9 69.9 69.9 74.9 74.9 74.9 79.3 82.5 81.3 80.9 ...
    78.9 78.8 80.5 85.7 87.7 89.2 90.6 89.9 89.4 87.6 ...
    85.6 82.5 79.6 76.8 74.5 71.9 69.0];
    bR = [33 33 33 30 30 30 41 41.2 42.3 41.8 ...
    38.6 35.5 31.7 21.5 21.2 23.5 29.1 33.5 34.1 35.1 ...
    36.4 37.4 38.9 39.7 39.7 39.7 39.7];
    aP = [85.8 87.6 87.5 87.5 96.6 97.2 91.5 86.7 86.8 84.9 ...
    86.0 86.0 85.9 80.6 80.2 77.8 78 81.4 82.3 82.6 ...
    81.5 80.7 78.8 77.0 76.0 74.0 72.0];
    bP = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ...
    8.2 8.2 8.2 8.2 8.2 8.2 8.2 8.2 8.2 8.2 ...
    8.2 8.2 8.2 8.2 8.2 8.2 8.2];
switch tipoPavimento
case 0
    K = 0.10;
    Cpav = 0;
case 1
    K = 0.06;
    Cpav = [0 0 0 0 0 0 1.9 7.8 9.8 8.6 ...
    9.1 9.0 8.4 11.3 10.7 9.2 7.8 4.7 1.5 1.2 ...
    0.2 -0.2 0.2 0.1 -0.6 -0.4 -0.9];
end
case 2
    aR = [76.5 76.5 76.5 78.5 79.5 79.5 82.5 84.3 84.7 84.3 ...
    87.4 88.2 92.0 94.1 93.8 94.4 92.2 89.6 88.9 86.5 ...
    83.1 81.1 79.2 77.3 77.3 77.3 77.3];
    bR = [33 33 33 30 30 30 41 41.2 42.3 41.8 ...
    38.6 35.5 31.7 21.5 21.2 23.5 29.1 33.5 34.1 35.1 ...
    36.4 37.4 38.9 39.7 39.7 39.7 39.7];
    aP = [97.0 97.7 98.5 98.5 101.5 101.4 97.0 96.5 85.2 99.6 ...
    100.7 101.0 98.3 84.2 92.4 82.1 93.8 94.3 95.2 94.9 ...
    93.3 91.2 89.3 87.3 85.3 84.3 83.3];
    bP = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ...
    8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 ...
    8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5];
switch tipoPavimento

```



```

        case 0
            K = 0.10;
            Cpav = 0;
        case 1
            K = 0.06;
            Cpav = [0      0      0      0      0      0      1.9      7.8      9.8      8.6      ...
                    9.1      9.0      8.4      11.3      10.7      9.2      7.8      4.7      1.5      1.2      ...
                    0.2      -0.2      0.2      0.1      -0.6      -0.4      -0.9];
        end
    case 3
        aR_2 = [76.5      76.5      76.5      78.5      79.5      79.5      82.5      84.3      84.7      84.3      ...
                87.4      88.2      92.0      94.1      93.8      94.4      92.2      89.6      88.9      86.5      ...
                83.1      81.1      79.2      77.3      77.3      77.3      77.3];
        numeroEjes = 4;
        aR = aR_2 + 10*log(numeroEjes/2);
        bR = [33      33      33      30      30      30      41      41.2      42.3      41.8      ...
              38.6      35.5      31.7      21.5      21.2      23.5      29.1      33.5      34.1      35.1      ...
              36.4      37.4      38.9      39.7      39.7      39.7      39.7];
        aP = [97.7      97.3      98.2      103.3      109.5      105.3      100.8      101.2      99.9      102.3      ...
              103.5      104.0      101.6      99.2      99.4      95.1      95.8      95.3      93.8      93.9      ...
              92.7      91.6      90.9      87.9      87.9      81.8      80.2];
        bP = [0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      ...
              8.5      8.5      8.5      8.5      8.5      8.5      8.5      8.5      8.5      8.5      ...
              8.5      8.5      8.5      8.5      8.5      8.5      8.5];
        switch tipoPavimento
            case 0
                K = 0.10;
                Cpav = 0;
            case 1
                K = 0.06;
                Cpav = [0      0      0      0      0      0      4.5      6.7      8.5      3.7      ...
                        1.1      1.2      5.9      9.8      9.7      6.5      3.1      1.7      0.5      0.3      ...
                        1.0      0.3      -0.9      0.2      -0.4      1.1      0.3];
        end
    end

LWR_sinCorrecciones = aR + bR * log(velocidad/velocidadReferencia);
LWP_sinCorrecciones = aP + bP * ((velocidad-velocidadReferencia)/velocidadReferencia);

% Corrección por Temperatura
tempReferencia = 20;
LWR = LWR_sinCorrecciones + K*(tempReferencia - temperatura);

% Corrección por Tipo de Pavimento
LWP = LWP_sinCorrecciones + Cpav;

p = (0.8 * 10.^(LWR/10) + 0.2 * 10.^(LWP/10)) ./ (10.^(LWR/10) + 10.^(LWP/10));

LW_1cm = 10 * log10 (10.^(LWR/10) + p.*10.^(LWP/10));

soundEnergy = LW_1cm;

```

A.2. Determinación del Nivel de Ruido equivalente

```

function Leq = Lw2Leq(Lw,N,T)
% Incorporación del factor temporal para la determinación de Leq
% Copyright (C) 2017 Freddy Armijos Arcos

% Lw
% Nivel de ruido en dbA (puede ser un vector dividido en frecuencias de 1/3
% de banda de octava

Lw_dbA = SumarRuido (Lw);

% T
% Tiempo a medir el Leq

% N
% Número de vehículos que pasa en el tiempo N

Leq = Lw_dbA + 10 * log10(N/T);

end

```

A.3. Códigos referentes a la ubicación de fuentes, receptores y nivel de presión sonora

Solo se presentan las primeras líneas de código, ya que se trata de valores calculados acorde a la descripción metodológica.

```
% Origen acorde al numero de pixel  
function source = SeleccionarFuente(i)  
switch i  
case 1  
    source = [20.1  208.8  6.5  
              41.7  202.9  6.2  
              47.8  201.1  6.0];  
case 2  
    source = [47.8  201.1  6.0  
              50.4  200.3  6.0  
              151.7 173.9  4.6  
              156.4 172.9  4.5];  
...
```

```
function emisionFuente = SeleccionarEmision ()  
    emisionFuente = [...  
87.14154578 87.20615726 85.27841507 81.70012285 82.69101414 78.70155332 79.45523147 77.85115567  
75.74740507 75.20298472 72.84974867 71.05243557 69.44181178 67.44085547 65.46222121 63.91257779  
61.72184867  
87.35025931 87.42192188 85.43200176 81.71964285 82.81558793 78.71745593 79.64111674 77.99481293  
75.88417715 75.33741949 72.97567343 71.15694114 69.54939459 67.54560026 65.54829763 64.01829105  
61.84891506  
...
```

```

function receptores = SeleccionarReceptores(i)

switch i
    case 1
        receptores = [
66.7  313.2  6.8
288.1 255.9  3.2
25.4  88.6   7.1
246.2 35.3   2.0
125.9  38.0  3.8
126.9  38.0  3.5
129.9  38.0  3.5
...

```

A.4. Programa principal. Ejecución del modelo

```

% Ejecución del modelo
% Accedido 2017/04/14 http://hfink.eu/archive-2012/sites/hfink.eu/files/sources.tar/index.gz
% Script de lanzamiento del programa principal

% Basado en el ejemplo principal generado por los autores
% Heinrich Fink, David Schwendemann, Wolf-Dieter Vogel, Gerald Peter, Roman Hochst?ger

% Copyright (C) 2017 Freddy Armijos Arcos

function [dataModelo] = ...
    EjecutarModelo ( numeroFuentes, ruidoFuentes, IMDFuente, receptores, elevacionReceptor, ...
                    distanciaMinima, anguloVision, ...
                    parametrosMeteorologicos, absorcionAire, tipoMaterial, ...
                    mapaBase)

dataModelo = zeros (size(receptores,1),4+numeroFuentes);
for numeroFuente_i = 1:numeroFuentes
    disp (['Procesando Fuente ', num2str(numeroFuente_i)])
    fuente = SeleccionarFuente(numeroFuente_i);
    ruidoFuente = ruidoFuentes(numeroFuente_i,:);
    iSegmentEnd = size(fuente,1) - 1;

    for receptor_i = 1:size(receptores,1)
        if (mod(receptor_i,200)) == 0
            disp (['Procesando Receptor ', num2str(receptor_i)]);
        end
        receptor = receptores (receptor_i, :);

        doSkipPoint = false;
        for iSegment = 1:iSegmentEnd
            [distance, isOnLine] = pointLineDistance2D(fuente(iSegment, 1:2), fuente(iSegment+1, 1:2),
receptor(1, 1:2));
            if ( (distance < distanciaMinima) && isOnLine)
                doSkipPoint = true;
                disp('Skip');
                break;
            end
        end
        if (doSkipPoint)
            continue;
        end

        LdbaReceptor = zeros(1,24);
        for iSegment = 1:iSegmentEnd
            pointSegments = SegmentSourceLine(receptor,fuente(iSegment, :),fuente(iSegment+1, :),
anguloVision);
            iPointSegmentEnd = size(pointSegments, 1);
            for iPointSegment = 1:iPointSegmentEnd
                sourcePoint = pointSegments(iPointSegment,1:3);
                lenghtSegment = pointSegments(iPointSegment,4);

                xMeterSample = 0.1;
                yMeterSample = 0.1;
                clf
                propagationPath = findPropagationPath(receptor, sourcePoint, mapaBase, xMeterSample,
yMeterSample, tipoMaterial);

                Lexcess = p2pcalc([sourcePoint(3), 0.5], [elevacionReceptor, 0.5], propagationPath,
parametrosMeteorologicos, absorcionAire);

```

```

allWeightA =      [-70.4, ...
-63.4  -56.7  -50.5, -44.7  -39.4  -34.6,  -30.2  -26.2  -22.5 ...
-19.1  -16.1  -13.4, -10.9  -8.6   -6.6 ,  -4.8   -3.2   -1.9 ...
-0.8   0      0.6 ,   1     1.2   1.3 ,   1.2     1     0.5 ...
-0.1   -1.1   -2.5 ,  -4.3   -6.6   -9.3 ];

distanciaFuenteReceptor = (receptor - sourcePoint);
dist_square = dot(distanciaFuenteReceptor, distanciaFuenteReceptor);
Adiv = 10*log10(4*pi*(dist_square));

ruidoFuenteNoDBA = 10 * log10 (10.^(ruidoFuente./10) - 10.^(allWeightA(8:31)./10));
Lsource = ruidoFuenteNoDBA + 10*log10(lenghtSegment);

Lreal = Lsource + Lexcess(4:27) - Adiv;
LdbaReceptor = LdbaReceptor + 10.^(Lreal./10);
end
end

if (LdbaReceptor ~= 0)
    LdbaReceptor = 10 * log10(LdbaReceptor);
end

LdbaReceptorSum = SumarRuido(LdbaReceptor);
LdbaReceptor_Leq = Lw2Leq (LdbaReceptorSum, IMDFuente, 1440); %1440 implica el calculo de Leq en
1 hora

dataModelo(receptor_i, 1:3) = receptor;
dataModelo(receptor_i, 3) = dataModelo(receptor_i,3) + elevacionReceptor;
dataModelo(receptor_i, 4+numeroFuente_i) = LdbaReceptor_Leq;

end

for i=1:size(dataModelo,1)
    dataModelo(i,4) = SumarRuido(dataModelo(i,5:end));
end

end

```

APENDICE B.1

RESULTADOS DE MONITOREOS CALLE TARQUI Y CALLE GRAN COLOMIBA

PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

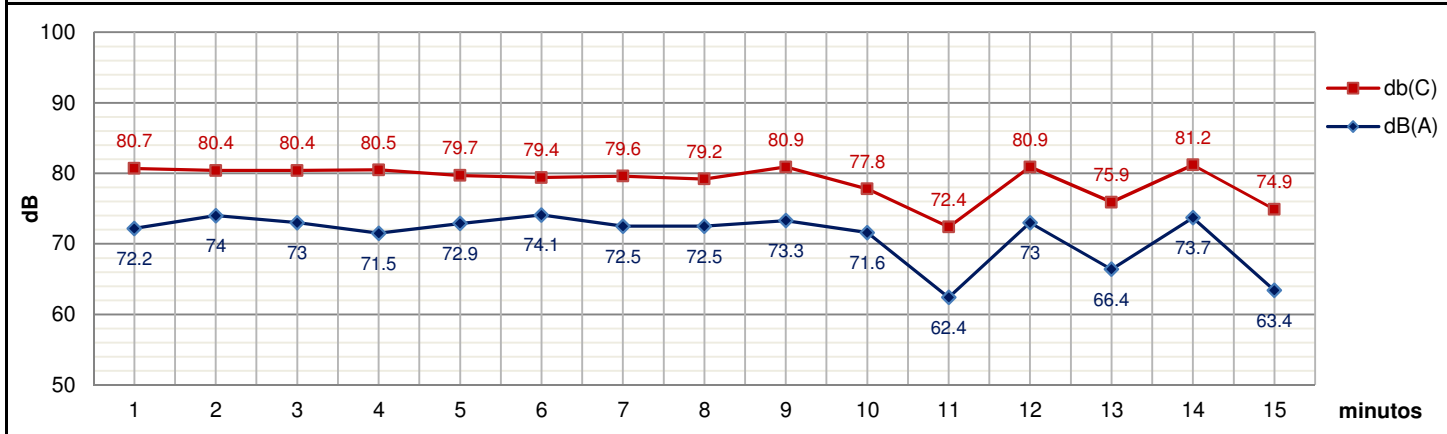
IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:			
Código:	TQ-15m-06h		
Coordenadas:	UTM WGS84 17S X: 721464 m, Y: 9679748 m		
Identificación:	Calle Tarqui. Muestreo de 15 minutos a las 6 am, en 3 subperíodos de 5 minutos		
Detalles del muestreo:		Parámetros meteorológicos:	
Fecha:	2018-03-08	Velocidad del Viento	1.4 m/s
Hora Inicio:	06:21	Dirección del Viento	SO
Hora Fin:	06:40	Nubosidad	7 oct
Calibración:	114.0 OK	Temperatura	12 °C
Observaciones:		Humedad	77 %
Flujo vehicular bajo en vías cercanas (Gran Colombia, Sucre)		Presión Barométrica	752 hPa
		Precipitaciones	Ausencia

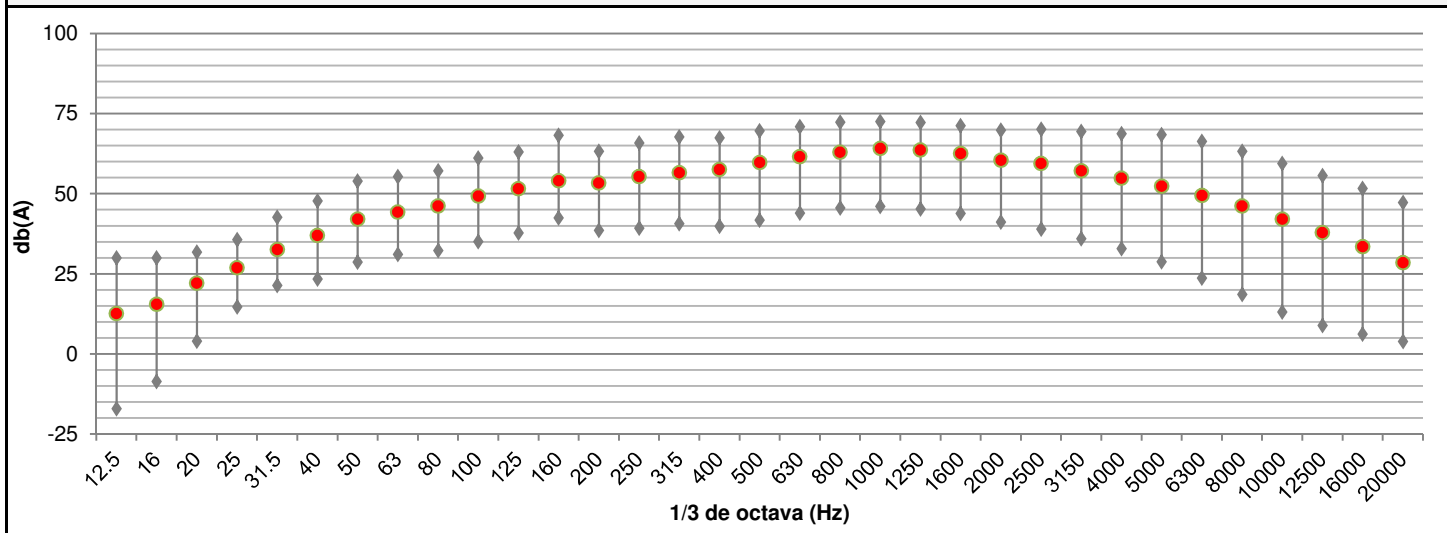
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	73.2	80.8	55.3	88.6	7	44	5	Bajo
		C	Slow	80.5	85.4	68.9	88.6				
II	5 min	A	Slow	72.9	80.2	56.0	88.6	4	40	2	Bajo
		C	Slow	79.5	85.6	68.8	88.6				
III	5 min	A	Slow	70.1	81.2	54.5	88.6	4	28	0	Bajo
		C	Slow	78.3	84.9	68.2	88.6				
TOTAL	15 min	A	Slow	72.3	81.2	54.5	88.6	15	112	7	Bajo
		C	Slow	79.5	85.6	68.2	88.6				

COMPOSICIÓN TEMPORAL



COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:

Código:	TQ-15m-07h		
Coordenadas:	UTM WGS84 17S	X: 721464 m, Y: 9679748 m	
Identificación:	Calle Tarqui. Muestreo de 15 minutos a las 7 am, en 3 subperíodos de 5 minutos		

Fotografía:

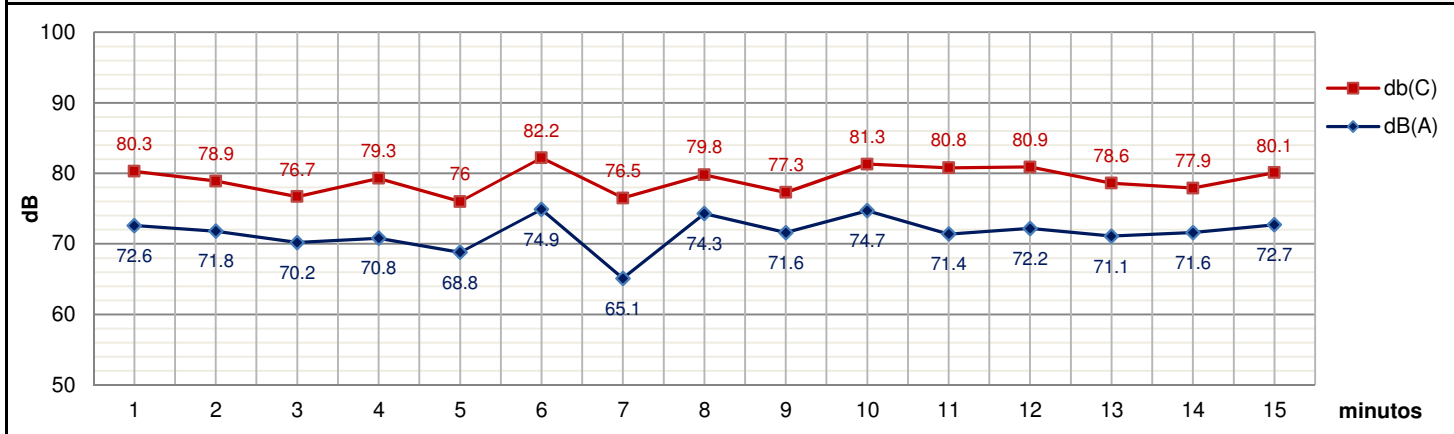


Detalles del muestreo:		Parámetros meteorológicos:	
Fecha:	2018-03-08	Velocidad del Viento	1.2 m/s
Hora Inicio:	07:22	Dirección del Viento	SO
Hora Fin:	07:38	Nubosidad	6 oct
Calibración:	114.0 OK	Temperatura	12 °C
Observaciones:		Humedad	76 %
		Presión Barométrica	752.6 hPa
		Precipitaciones	Ausencia

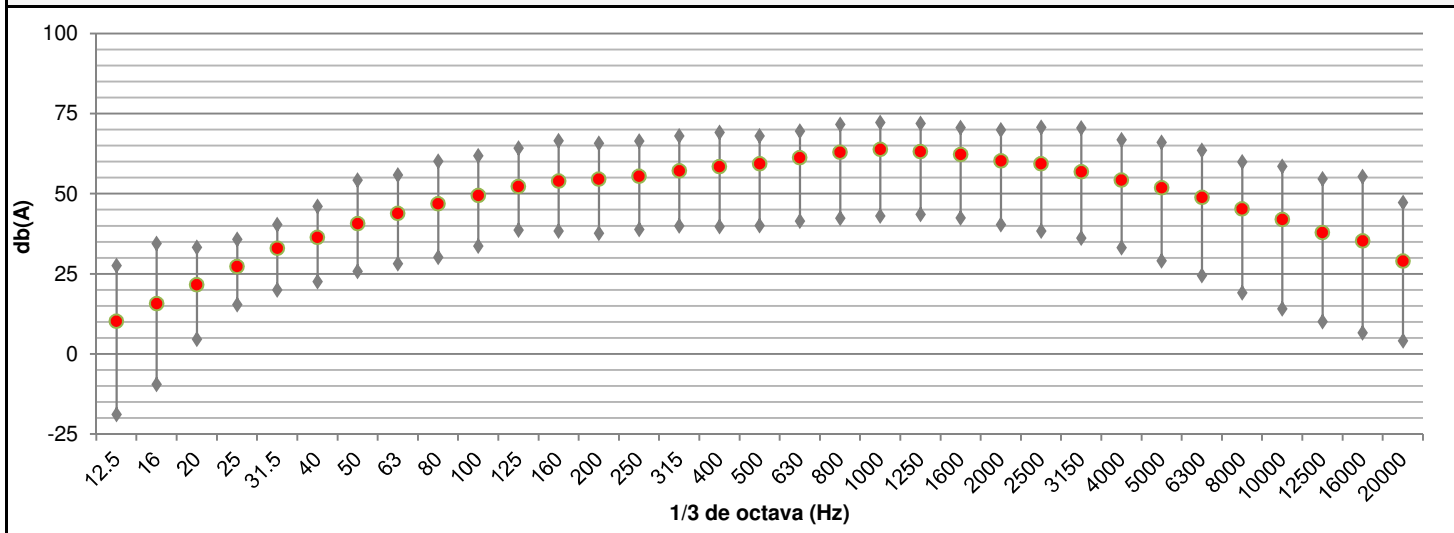
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	71.0	78.6	50.7	88.6	1	35	0	Bajo - Medio
		C	Slow	78.5	85.5	65.1	88.6				
II	5 min	A	Slow	73.2	79.9	55.5	88.6	6	48	3	Bajo - Medio
		C	Slow	80.0	84.6	70.1	88.6				
III	5 min	A	Slow	71.8	81.5	55.0	88.6	4	48	4	Bajo - Medio
		C	Slow	79.8	85.9	66.7	88.6				
TOTAL	15 min	A	Slow	72.1	81.5	50.7	88.6	11	131	7	Bajo-Medio
		C	Slow	79.5	85.9	65.1	88.6				

COMPOSICIÓN TEMPORAL



COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

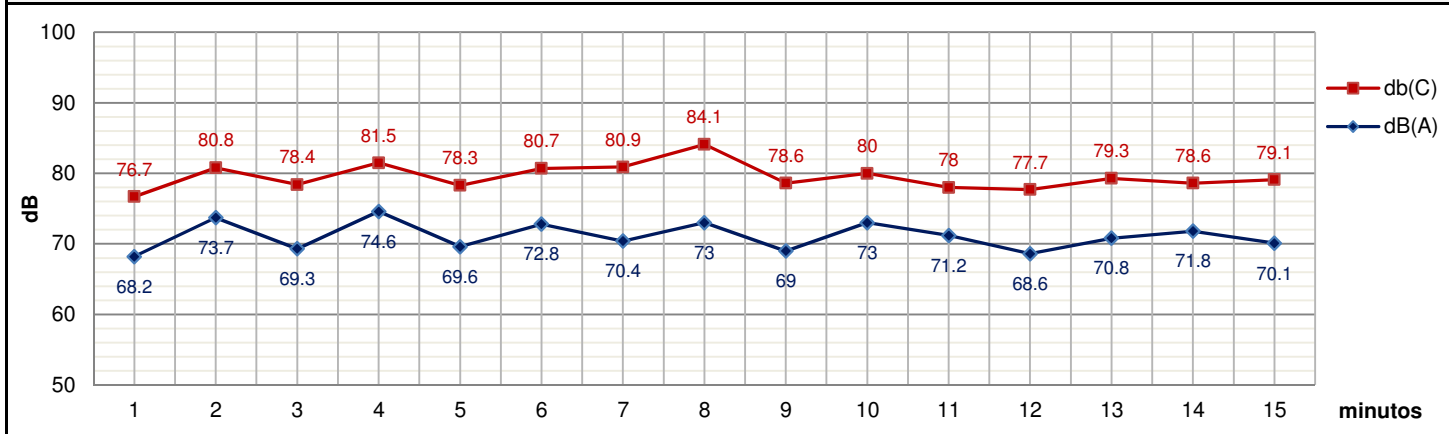
IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:			
Código:	TQ-15m-08h		
Coordenadas:	UTM WGS84 17S X: 721464 m, Y: 9679748 m		
Identificación:	Calle Tarqui. Muestreo de 15 minutos a las 8 am, en 3 subperíodos de 5 minutos		
Detalles del muestreo:		Parámetros meteorológicos:	
Fecha:	2018-03-08	Velocidad del Viento	1.2 m/s
Hora Inicio:	08:16	Dirección del Viento	SO
Hora Fin:	08:33	Nubosidad	3 oct
Calibración:	113.9 OK	Temperatura	12 °C
Observaciones:		Humedad	74 %
Aumento en el flujo de peatones		Presión Barométrica	753 hPa
		Precipitaciones	Ausencia

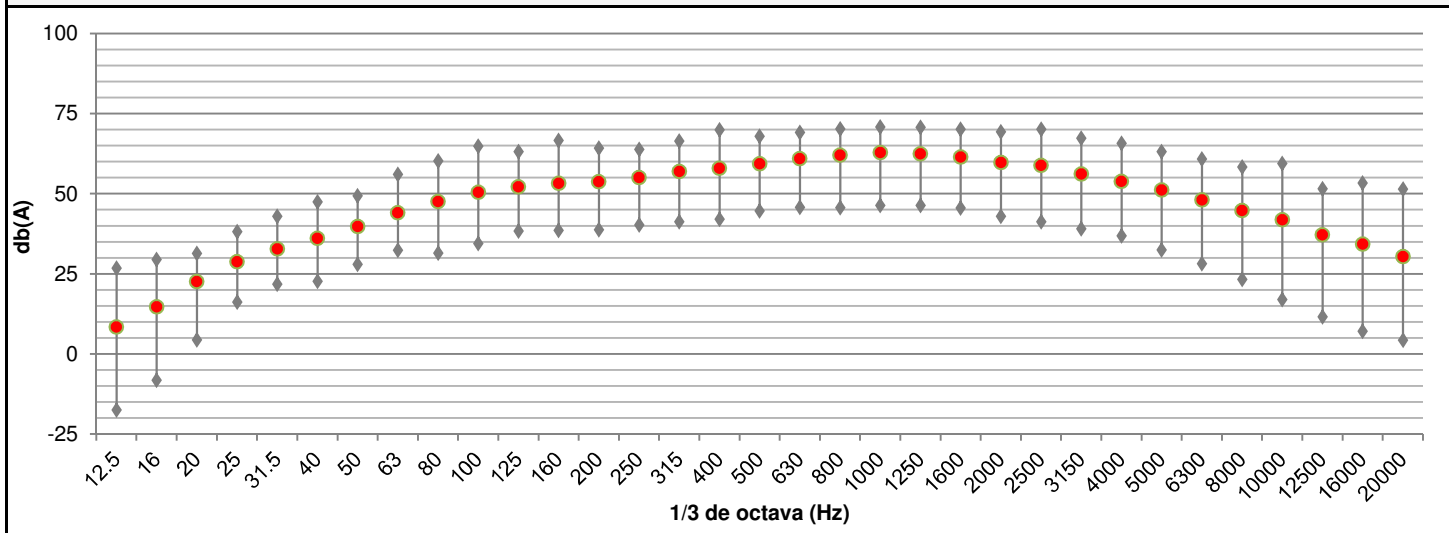
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	71.9	79.2	53.8	88.6	4	42	2	Medio-Alto
		C	Slow	79.5	85.9	68.6	88.6				
II	5 min	A	Slow	71.9	80.0	58.3	88.6	6	53	3	Medio-Alto
		C	Slow	80.4	85.6	70.4	88.6				
III	5 min	A	Slow	70.6	80.5	56.6	88.6	6	34	1	Medio
		C	Slow	78.6	85.2	68.2	88.6				
TOTAL	15 min	A	Slow	71.5	80.5	53.8	88.6	16	129	6	Medio - Alto
		C	Slow	79.6	85.9	68.2	88.6				

COMPOSICIÓN TEMPORAL



COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

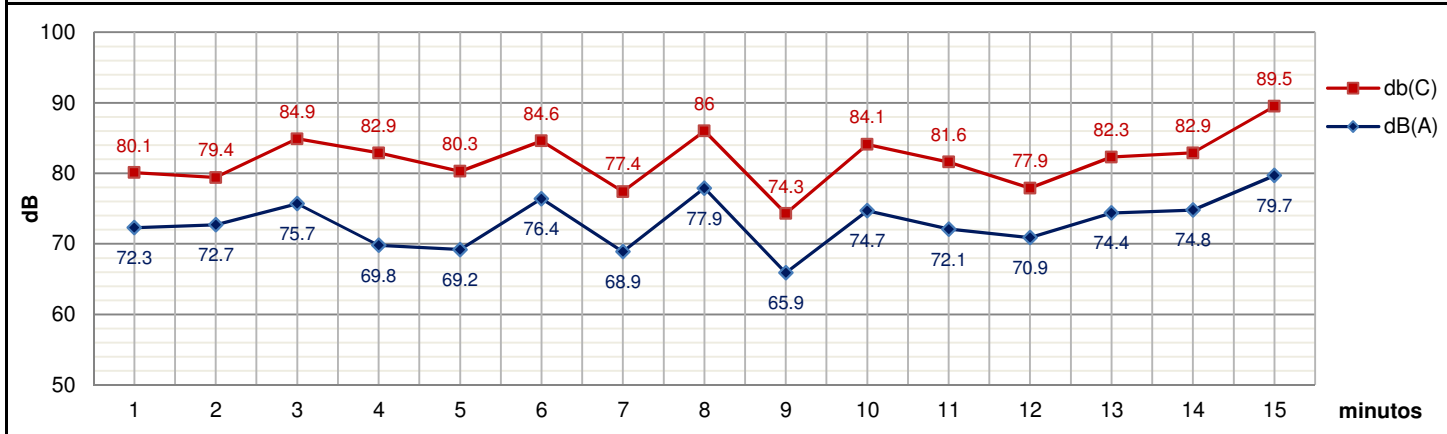
IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:					
Código:	TQ-15m-12h				
Coordenadas:	UTM WGS84 17S X: 721464 m, Y: 9679748 m				
Identificación:	Calle Tarqui. Muestreo de 15 minutos a las 12 de medio día, en 3 subperíodos de 5 minutos				
Detalles del muestreo:			Parámetros meteorológicos:		
Fecha:	2018-03-08		Velocidad del Viento	1.4	m/s
Hora Inicio:	12:00		Dirección del Viento	S	
Hora Fin:	12:16		Nubosidad	4	oct
Calibración:	113.9 OK		Temperatura	21	°C
Observaciones:			Humedad	75	%
Ruido Audible: Trabajos de reparación en vivienda cercana			Presión Barométrica	754.3	hPa
			Precipitaciones	Ausencia	

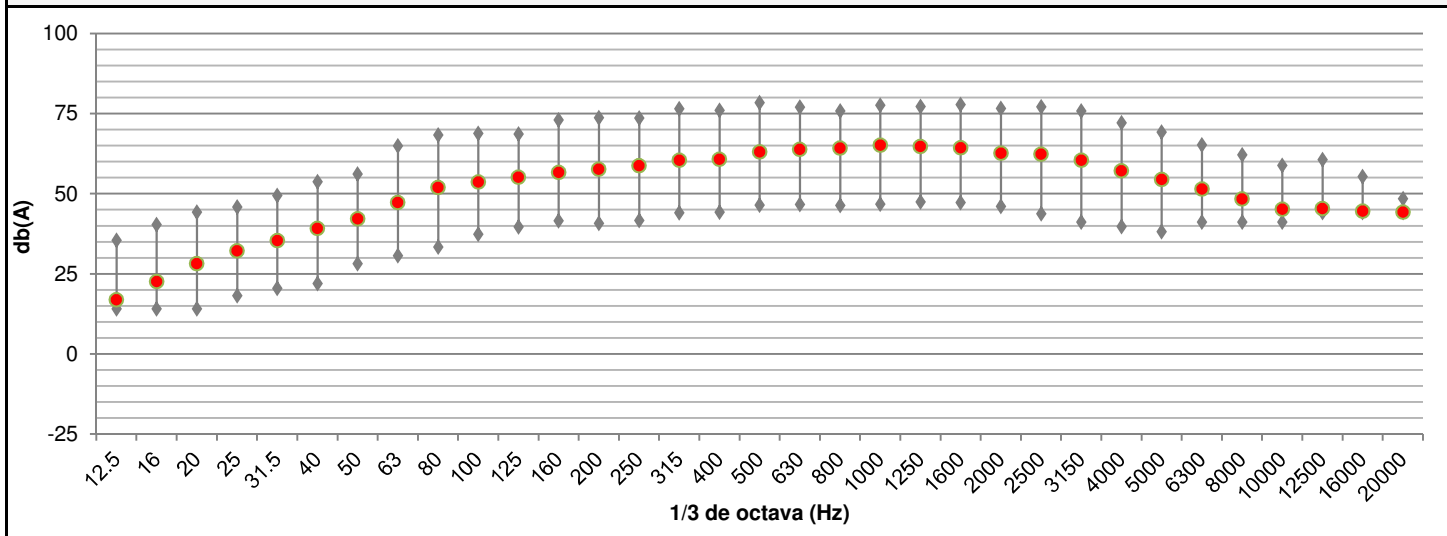
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	72.6	82.7	60.7	98.0	4	60	3	Medio-Alto
		C	Slow	82.0	93.5	72.5	105.7				
II	5 min	A	Slow	74.6	87.7	56.8	102.3	5	54	2	Alto
		C	Slow	83.1	95.1	68.6	109.0				
III	5 min	A	Slow	75.5	89.7	55.3	105.0	4	51	10	Alto
		C	Slow	84.6	98.3	68.0	110.4				
TOTAL	15 min	A	Slow	74.4	89.7	55.3	105.0	13	165	15	Medio - Alto
		C	Slow	83.4	98.3	68.0	110.4				

COMPOSICIÓN TEMPORAL



COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:

Código:	TQ-15m-13h
Coordenadas:	UTM WGS84 17S X: 721464 m, Y: 9679748 m
Identificación:	Calle Tarqui. Muestreo de 15 minutos a la 1 pm, en 3 subperíodos de 5 minutos

Fotografía:



Detalles del muestreo:

Fecha:	2018-03-01	Velocidad del Viento:	2.9 m/s
Hora Inicio:	13:00	Dirección del Viento:	S
Hora Fin:	13:15	Nubosidad:	4 oct
Calibración:	113.9 OK	Temperatura:	22.1 °C

Observaciones:

Ruido Audible: Trabajos de reparación en vivienda cercana, Musica Negocios

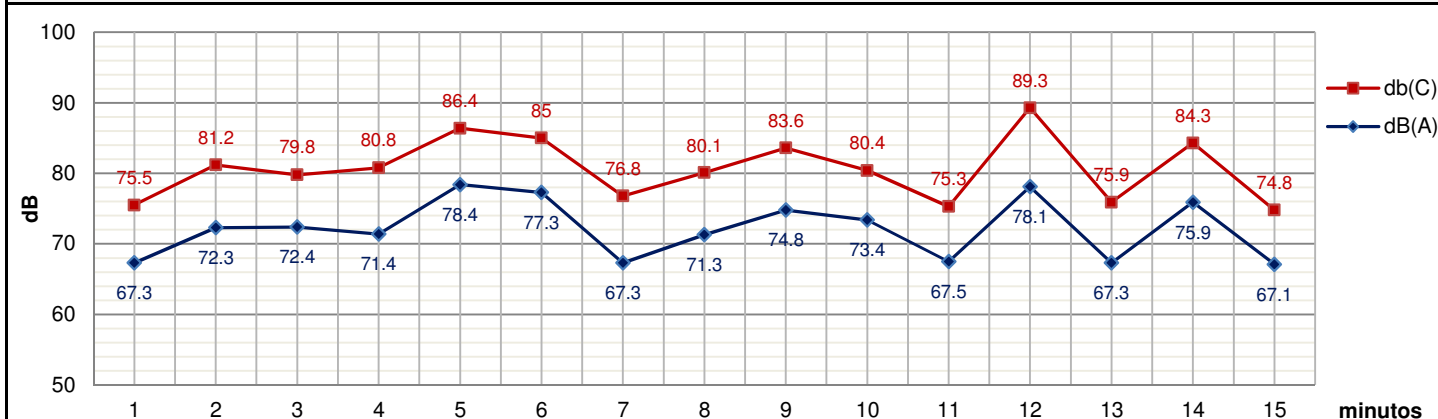
Parámetros meteorológicos:

Humedad:	76 %
Presión Barométrica:	753.6 hPa
Precipitaciones:	Ausencia

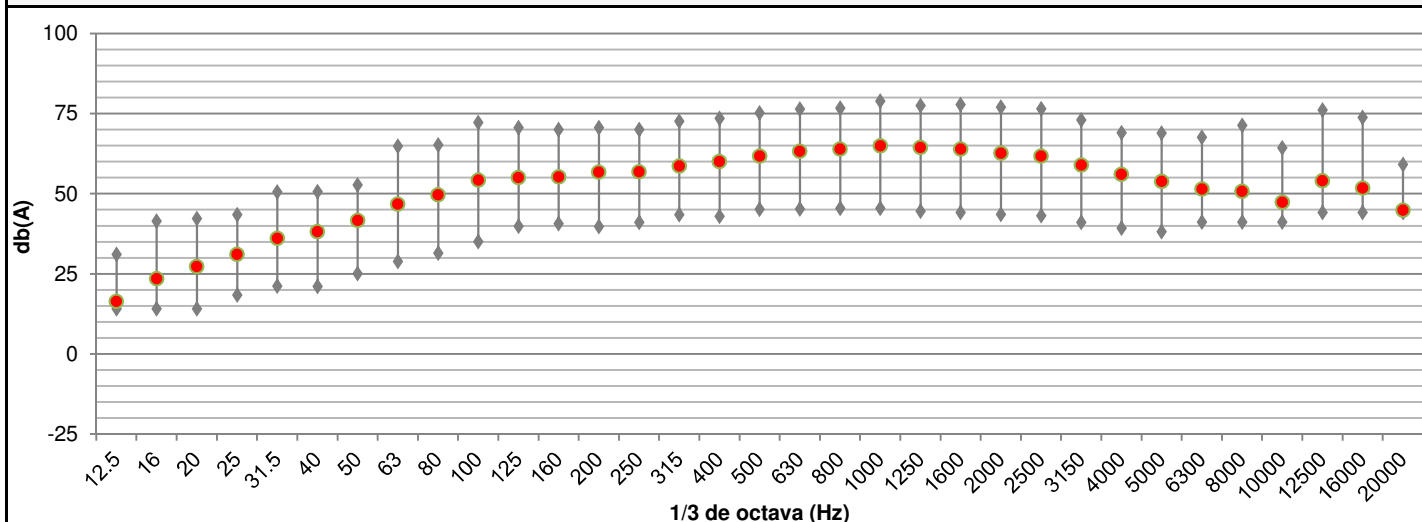
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	73.9	86.9	58.3	101.3	3	50	5	Medio
		C	Slow	82.2	96.0	68.4	107.1				
II	5 min	A	Slow	74.0	86.2	54.6	100.9	5	51	3	Medio
		C	Slow	82.0	93.4	68.1	105.4				
III	5 min	A	Slow	73.8	86.6	56.5	102.3	5	35	1	Medio - Bajo
		C	Slow	83.9	97.5	69.2	110.5				
TOTAL	15 min	A	Slow	73.9	86.9	54.6	102.3	13	136	9	Medio
		C	Slow	82.8	97.5	68.1	110.5				

COMPOSICIÓN TEMPORAL



COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:

Código:	TQ-15m-14h
Coordenadas:	UTM WGS84 17S X: 721464 m, Y: 9679748 m
Identificación:	Calle Tarqui. Muestreo de 15 minutos a las 2 pm, en 3 subperíodos de 5 minutos

Fotografía:

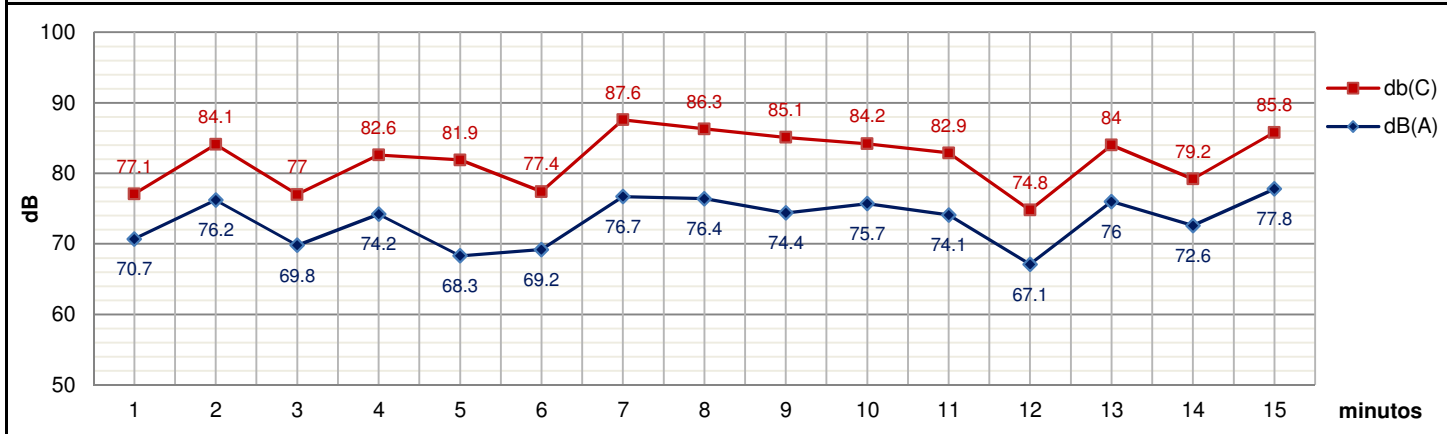


Detalles del muestreo:		Parámetros meteorológicos:	
Fecha:	2018-03-01	Velocidad del Viento	1.7 m/s
Hora Inicio:	14:08	Dirección del Viento	SE
Hora Fin:	14:24	Nubosidad	7 oct
Calibración:	113.9 OK	Temperatura	22 °C
Observaciones: Flujo peatonal y tráfico aumenta significativamente a partir de las 14:20. Ruido Audible: Musica Negocios		Humedad	66 %
		Presión Barométrica	752.6 hPa
		Precipitaciones	Ausencia

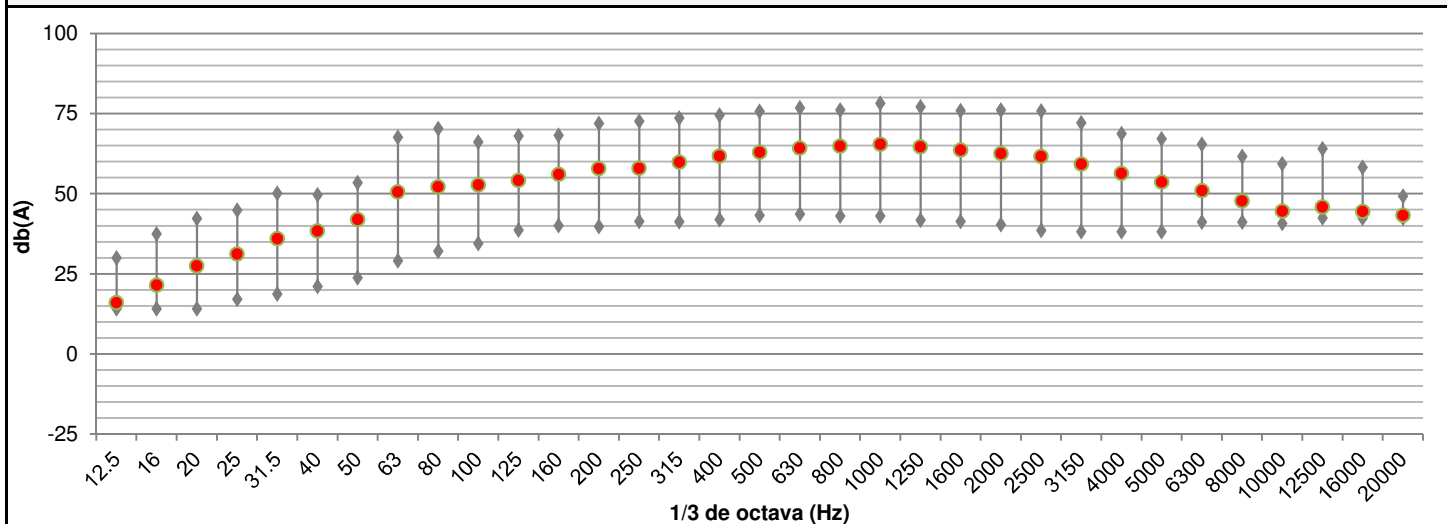
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	72.8	84.6	53.3	98.4	2	39	3	Bajo
		C	Slow	81.4	95.3	64.7	105.5				
II	5 min	A	Slow	75.1	86.9	55.1	102.2	7	29	5	Bajo
		C	Slow	85.2	98.7	68.4	111.3				
III	5 min	A	Slow	74.7	86.6	55.4	101.9	3	71	1	Medio
		C	Slow	82.7	95.0	68.1	107.2				
TOTAL	15 min	A	Slow	74.3	86.9	53.3	102.2	12	139	9	Bajo / Medio
		C	Slow	83.4	98.7	64.7	111.3				

COMPOSICIÓN TEMPORAL




COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

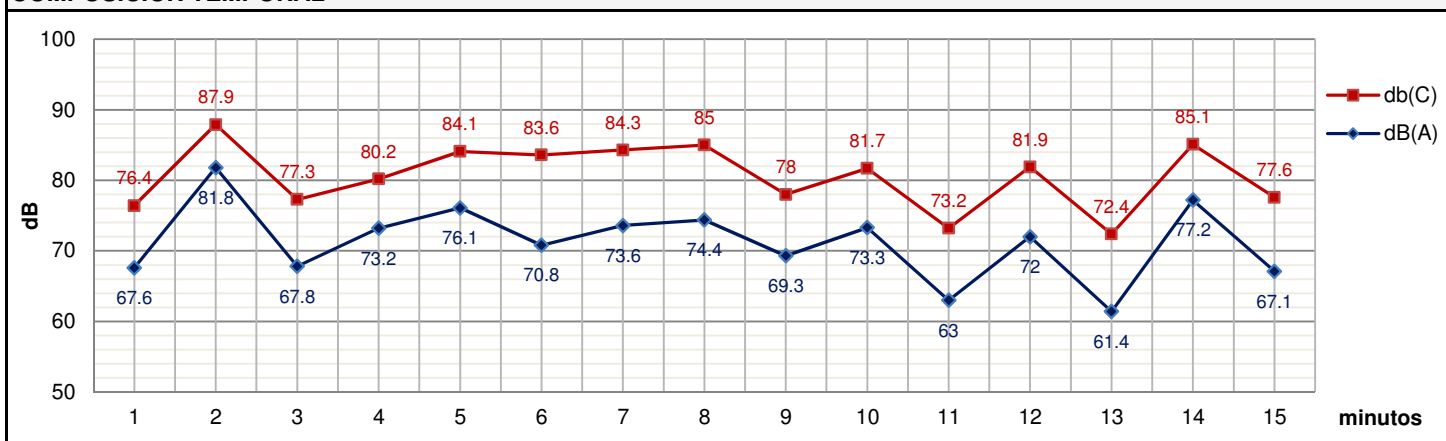
IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:				Fotografía:	
Código:	TQ-15m-18h				
Coordenadas:	UTM WGS84 17S X: 721464 m, Y: 9679748 m				
Identificación:	Calle Tarqui. Muestreo de 15 minutos a las 6 pm, en 3 subperíodos de 5 minutos				
Detalles del muestreo:		Parámetros meteorológicos:			
Fecha:	2018-03-01	Velocidad del Viento	0.8	m/s	
Hora Inicio:	18:08	Dirección del Viento	SO		
Hora Fin:	18:25	Nubosidad	6	oct	
Calibración:	113.9 OK	Temperatura	17.3	°C	
Observaciones:		Humedad	72	%	
Ruido específico debido a alarma de vivienda en el punto de muestreo habitual, se mueve 20m para evitar interferencia		Presión Barométrica	750.1	hPa	
		Precipitaciones	Ausencia		

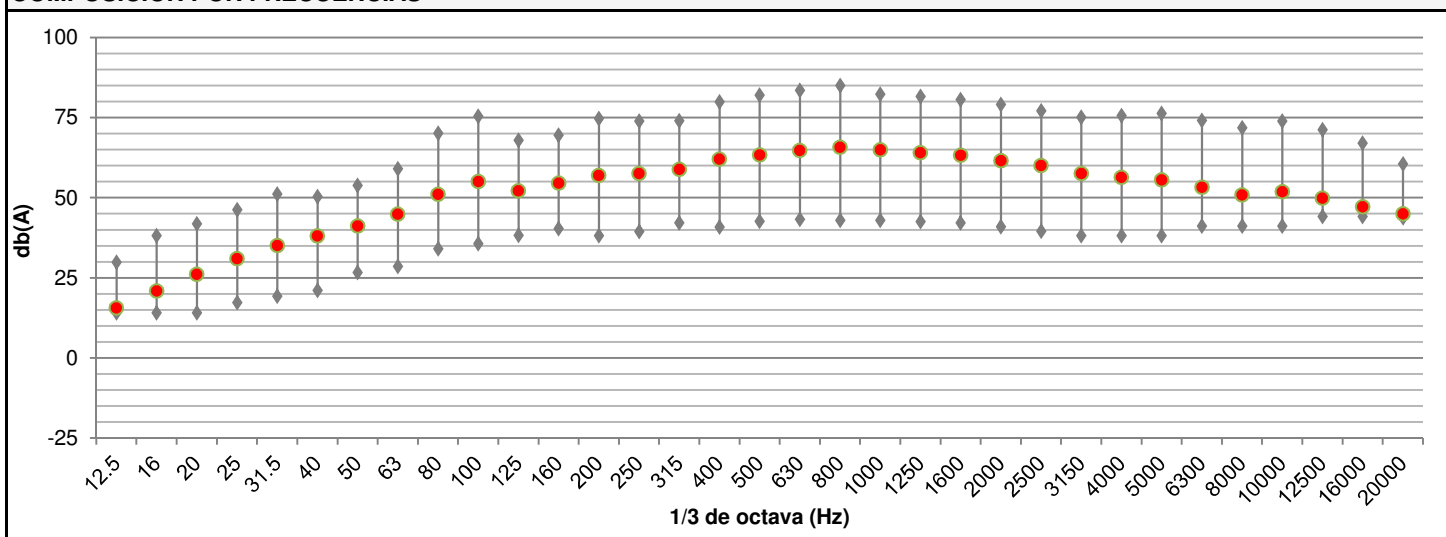
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	76.5	95.5	54.4	110.1	2	41	2	Medio
		C	Slow	83.3	101.4	67.9	113.8				
II	5 min	A	Slow	72.7	83.8	55.4	116.0	4	37	4	Medio Alto
		C	Slow	83.1	98.8	69.9	112.4				
III	5 min	A	Slow	71.9	88.0	53.6	106.1	2	49	1	Medio Alto
		C	Slow	80.6	92.3	67.6	105.5				
TOTAL	15 min	A	Slow	74.2	95.5	53.6	116.0	8	127	7	Medio-Alto
		C	Slow	82.5	101.4	67.6	113.8				

COMPOSICIÓN TEMPORAL



COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:

Código:	TQ-15m-19h		
Coordenadas:	UTM WGS84 17S	X: 721464 m, Y: 9679748 m	
Identificación:	Calle Tarqui. Muestreo de 15 minutos a las 7 pm, en 3 subperíodos de 5 minutos		

Fotografía:



Detalles del muestreo:

Fecha:	2018-03-01	Velocidad del Viento	3.1 m/s
Hora Inicio:	19:06	Dirección del Viento	O
Hora Fin:	19:26	Nubosidad	7 oct
Calibración:	113.9 OK	Temperatura	14.8 °C

Observaciones:

Ruido Audible: Música de negocios

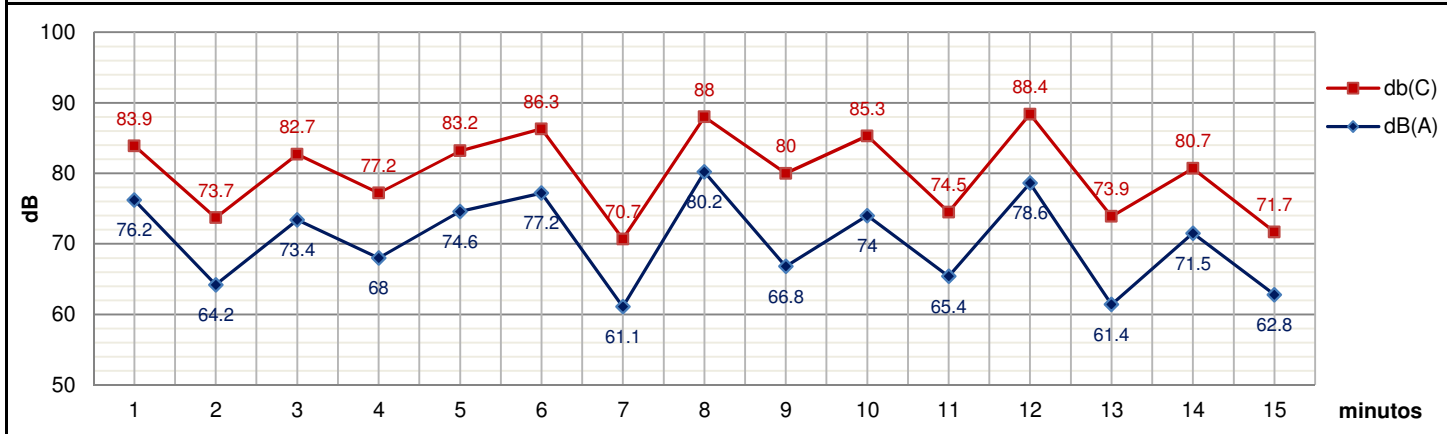
Parámetros meteorológicos:

Humedad	83 %
Presión Barométrica	751.1 hPa
Precipitaciones	Ausencia

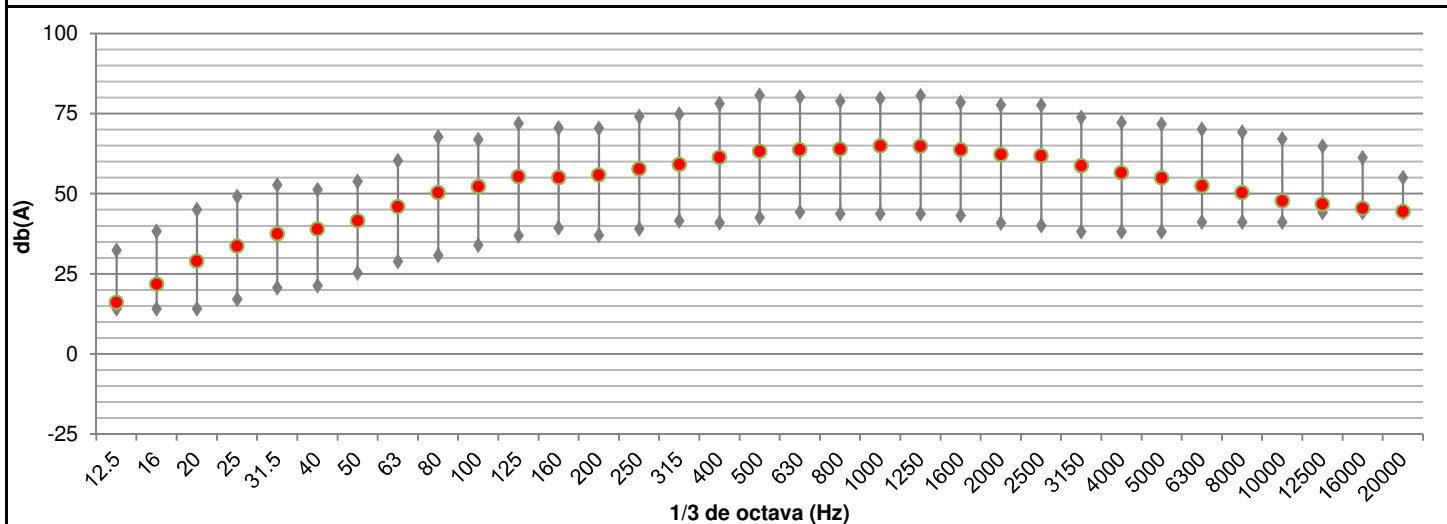
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	73.1	87.6	55.1	100.8	3	60	7	Bajo
		C	Slow	81.6	94.7	67.2	107.5				
II	5 min	A	Slow	75.8	92.1	55.3	110.2	6	51	2	Bajo
		C	Slow	84.8	99.1	66.7	115.5				
III	5 min	A	Slow	72.7	86.5	53.2	101.4	4	35	3	Bajo
		C	Slow	82.4	96.5	67.6	108.4				
TOTAL	15 min	A	Slow	74.1	92.1	53.2	110.2	13	146	12	Bajo
		C	Slow	83.2	99.1	66.7	115.5				

COMPOSICIÓN TEMPORAL



COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:

Código:	TQ-15m-20h
Coordenadas:	UTM WGS84 17S X: 721464 m, Y: 9679748 m
Identificación:	Calle Tarqui. Muestreo de 15 minutos a las 8 pm, en 3 subperíodos de 5 minutos

Fotografía:



Detalles del muestreo:

Fecha:	2018-03-01
Hora Inicio:	20:00
Hora Fin:	20:39
Calibración:	113.9 OK

Parámetros meteorológicos:

Velocidad del Viento:	1.9 m/s
Dirección del Viento:	SO
Nubosidad:	7 oct
Temperatura:	15 °C

Observaciones:

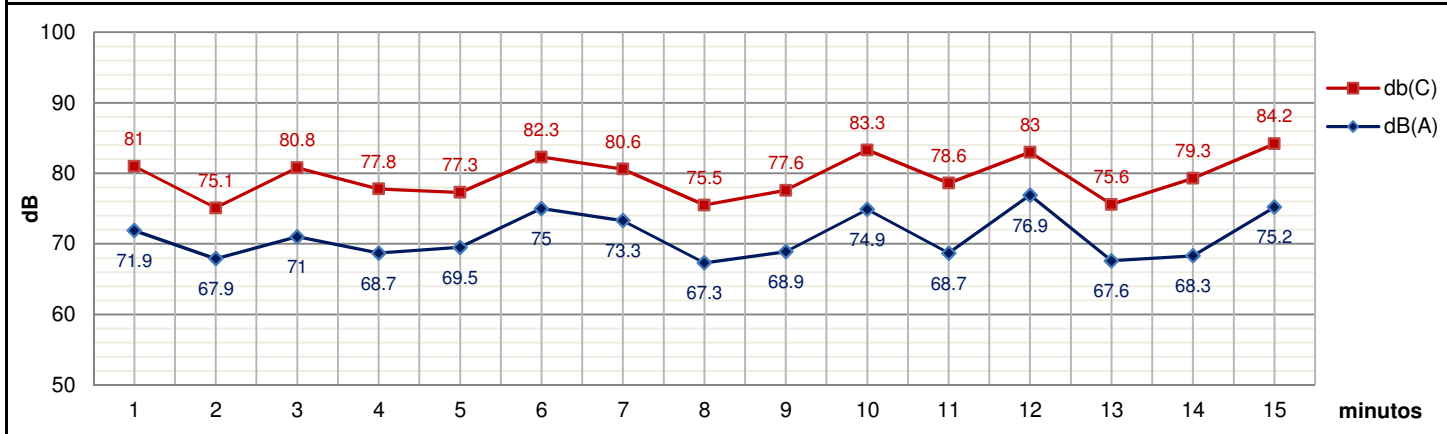
Ruido Audible: Música de negocios, inicio funcionamiento bares. Pausa en muestreo (por vehículos de mantenimiento en ETAPA)

Humedad:	90 %
Presión Barométrica:	752.3 hPa
Precipitaciones:	Ausencia

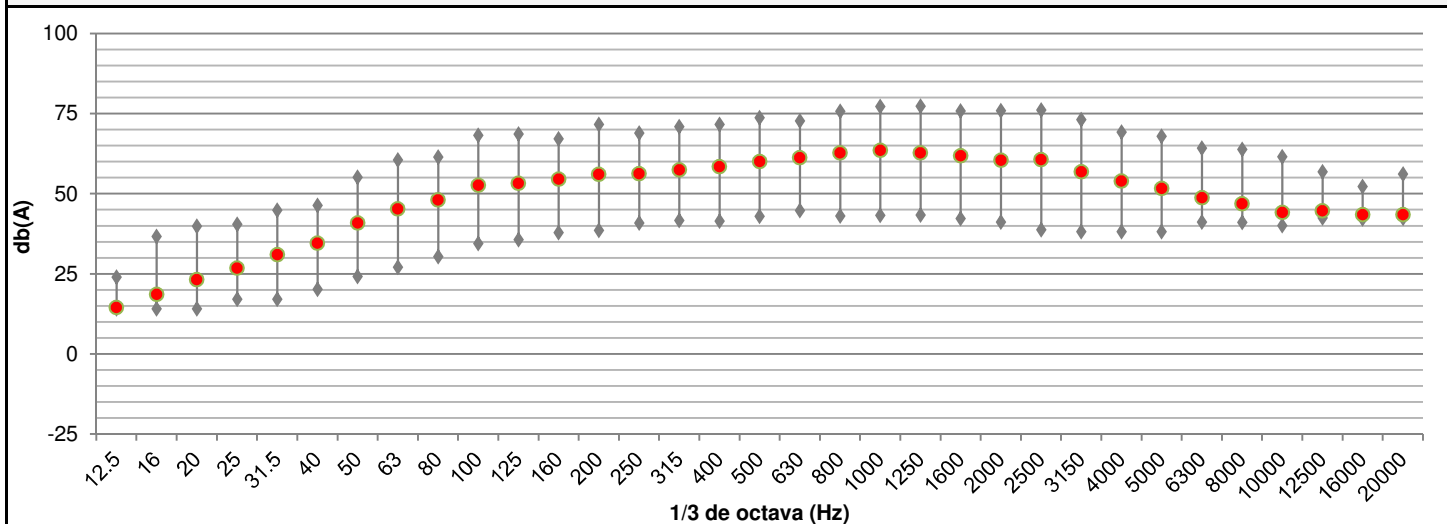
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	70.1	77.9	55.1	97.1	1	37	2	Bajo
		C	Slow	78.9	90.5	65.7	101.0				
II	5 min	A	Slow	72.9	85.8	55.1	100.9	3	40	2	Bajo
		C	Slow	80.7	94.7	67.0	106.3				
III	5 min	A	Slow	73.1	86.3	54.9	101.0	3	38	2	Bajo
		C	Slow	81.2	91.5	65.9	103.5				
TOTAL	15 min	A	Slow	72.2	86.3	54.9	101.0	7	115	6	Bajo
		C	Slow	80.4	94.7	65.7	106.3				

COMPOSICIÓN TEMPORAL



COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

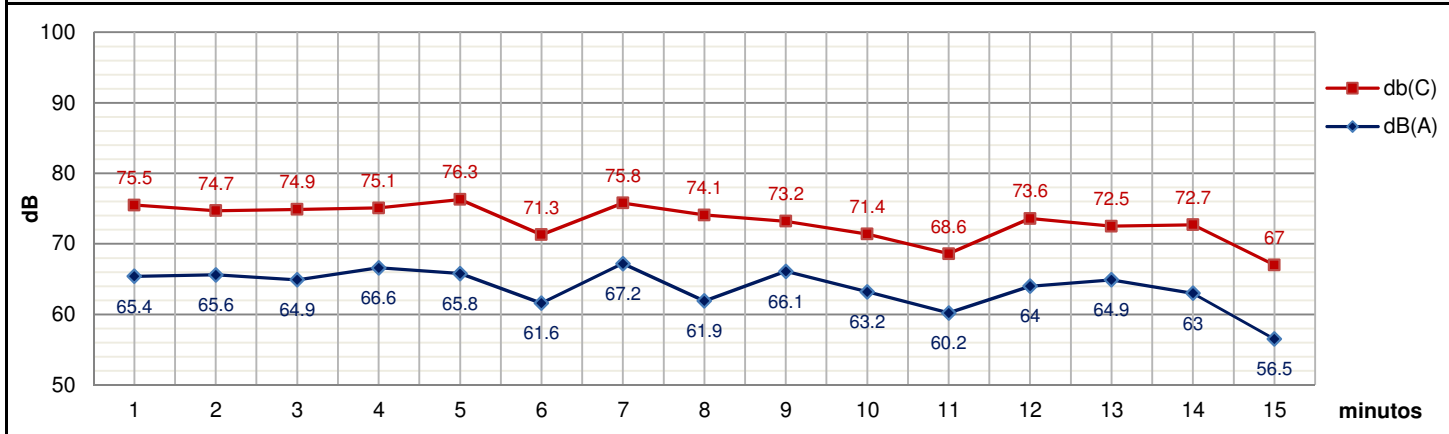
IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:			
Código:	GC-15m-06h		
Coordenadas:	UTM WGS84 17S X: 721420 m, Y: 9679824 m		
Identificación:	Calle Gran Colombia. Muestreo de 15 minutos a las 6 am, en 3 subperíodos de 5 minutos		
Detalles del muestreo:		Parámetros meteorológicos:	
Fecha:	2018-03-08	Velocidad del Viento	1.4 m/s
Hora Inicio:	06:28	Dirección del Viento	SO
Hora Fin:	06:52	Nubosidad	7 oct
Calibración:	114.0 OK	Temperatura	12 °C
Observaciones:		Humedad	77 %
		Presión Barométrica	752 hPa
		Precipitaciones	Ausencia

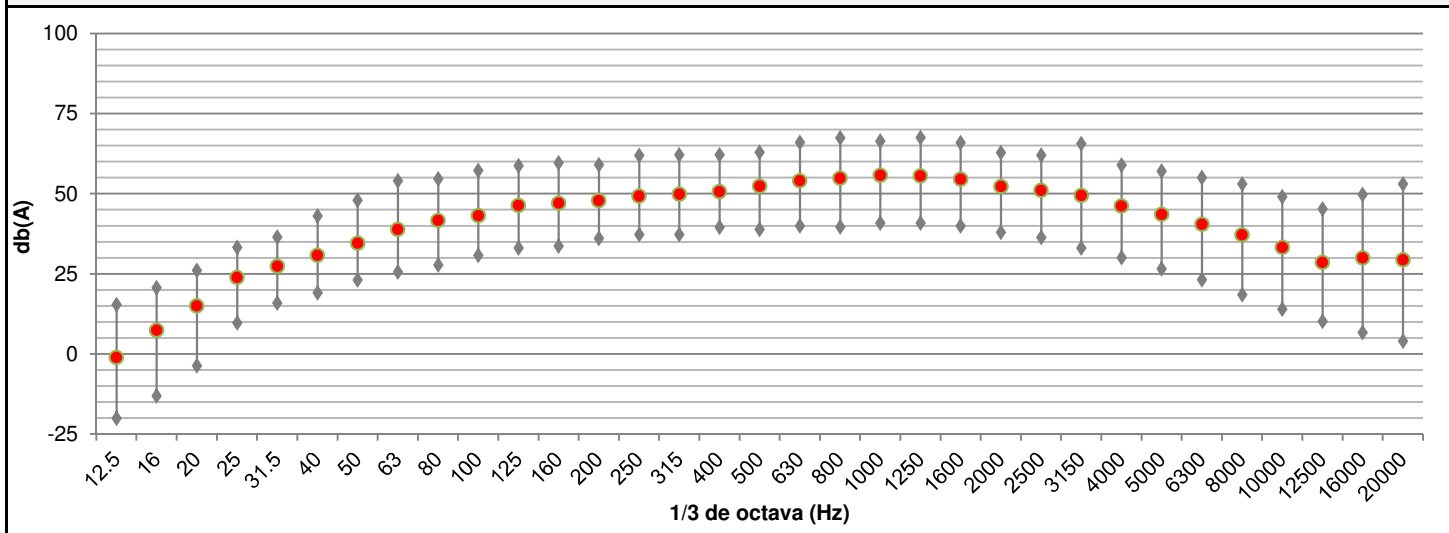
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	65.7	73.8	54.9	88.6	0	11	2	Bajo
		C	Slow	75.3	83.8	66.8	88.6				
II	5 min	A	Slow	64.6	77.0	47.5	88.6	0	8	1	Bajo
		C	Slow	73.5	82.9	62.0	88.6				
III	5 min	A	Slow	62.6	72.1	47.3	88.6	0	3	1	Bajo
		C	Slow	71.6	80.7	60.7	88.6				
TOTAL	15 min	A	Slow	64.5	77.0	47.3	88.6	0	22	4	Bajo
		C	Slow	73.7	83.8	60.7	88.6				

COMPOSICIÓN TEMPORAL



COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

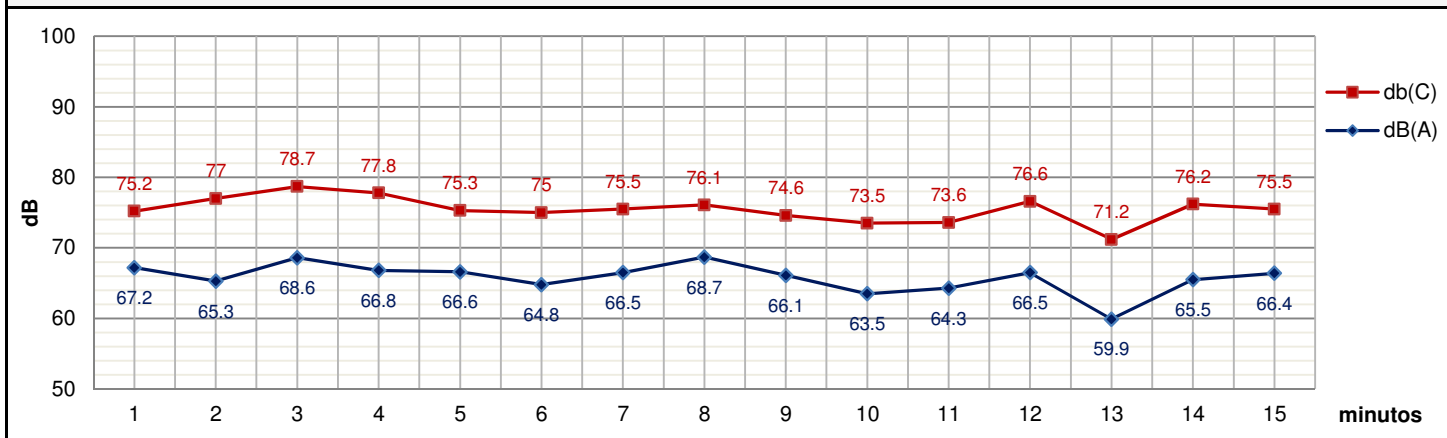
IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:			
Código:	GC-15m-07h		
Coordenadas:	UTM WGS84 17S X: 721420 m, Y: 9679824 m		
Identificación:	Calle Gran Colombia. Muestreo de 15 minutos a las 7 am, en 3 subperíodos de 5 minutos		
Detalles del muestreo:		Parámetros meteorológicos:	
Fecha:	2018-03-08	Velocidad del Viento	1.2 m/s
Hora Inicio:	07:40	Dirección del Viento	SO
Hora Fin:	07:56	Nubosidad	6 oct
Calibración:	114.0 OK	Temperatura	81.9 °C
Observaciones: Negocios en la periferia del muestreo incian sus actividades		Humedad	76 %
		Presión Barométrica	752.6 hPa
		Precipitaciones	Ausencia

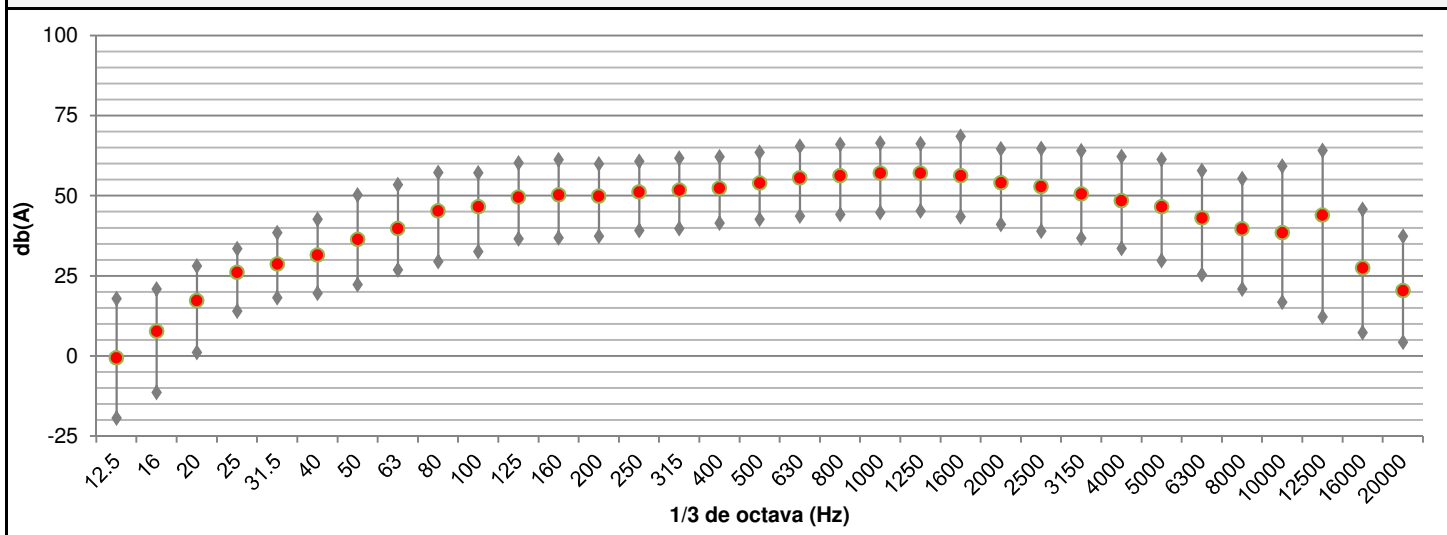
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	67.0	75.7	57.1	88.6	0	20	5	Bajo - Medio
		C	Slow	77.0	82.7	68.2	88.6				
II	5 min	A	Slow	66.3	75.8	52.8	88.6	0	14	1	Bajo - Medio
		C	Slow	75.0	82.4	64.3	88.6				
III	5 min	A	Slow	65.1	74.3	53.0	88.6	1	11	3	Bajo - Medio
		C	Slow	75.0	83.8	66.4	88.6				
TOTAL	15 min	A	Slow	66.2	75.8	52.8	88.6	1	45	9	Bajo
		C	Slow	75.8	83.8	64.3	88.6				

COMPOSICIÓN TEMPORAL



COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:

Código:	GC-15m-08h		
Coordenadas:	UTM WGS84 17S	X: 721420 m, Y: 9679824 m	
Identificación:	Calle Gran Colombia. Muestreo de 15 minutos a las 8 am, en 3 subperíodos de 5 minutos		

Fotografía:



Detalles del muestreo:

Fecha:	2018-03-08
Hora Inicio:	08:36
Hora Fin:	08:52
Calibración:	113.9 OK

Parámetros meteorológicos:

Velocidad del Viento	1.2 m/s
Dirección del Viento	SO
Nubosidad	3 oct
Temperatura	12 °C

Observaciones:

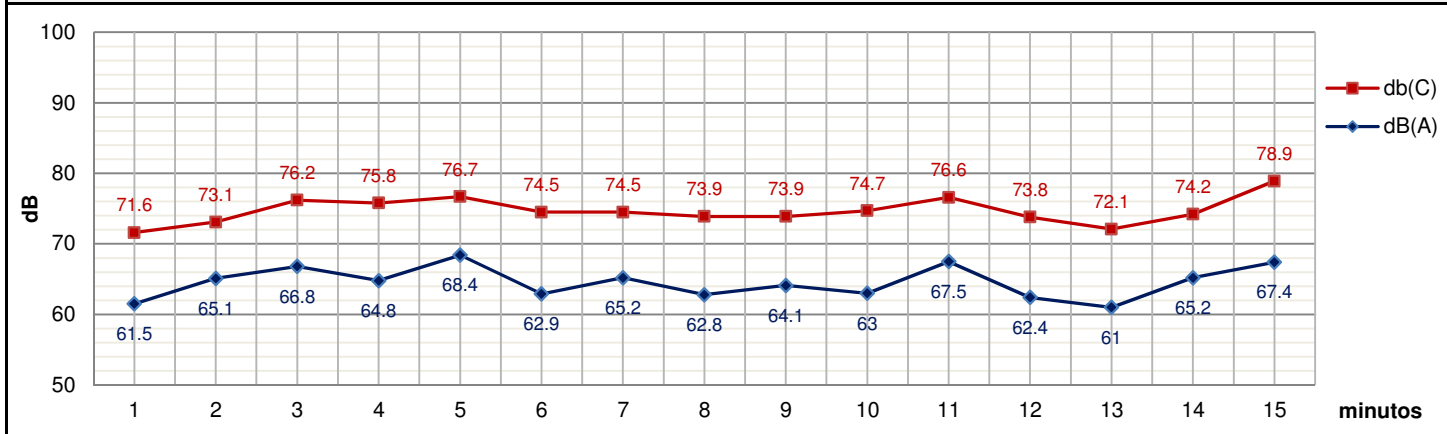
Negocios en la periferia del muestreo inician sus actividades, aumento parcial en el flujo peatonal

Humedad	74 %
Presión Barométrica	753 hPa
Precipitaciones	Ausencia

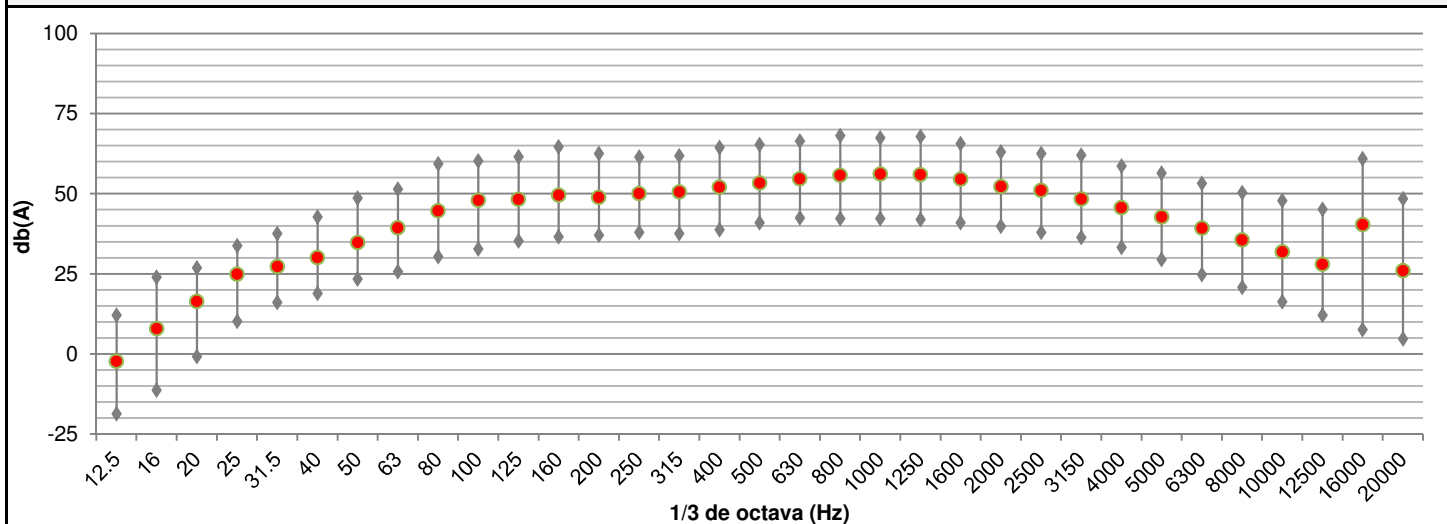
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	65.9	76.7	55.0	88.6	0	8	1	Bajo
		C	Slow	75.1	83.7	66.5	88.6				
II	5 min	A	Slow	63.7	72.4	52.9	86.9	0	10	1	Bajo
		C	Slow	74.3	81.6	64.3	88.6				
III	5 min	A	Slow	65.4	75.6	50.7	88.6	1	11	3	Medio
		C	Slow	75.8	85.1	65.4	88.6				
TOTAL	15 min	A	Slow	65.1	76.7	50.7	88.6	1	29	5	Bajo - Medio
		C	Slow	75.1	85.1	64.3	88.6				

COMPOSICIÓN TEMPORAL




COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

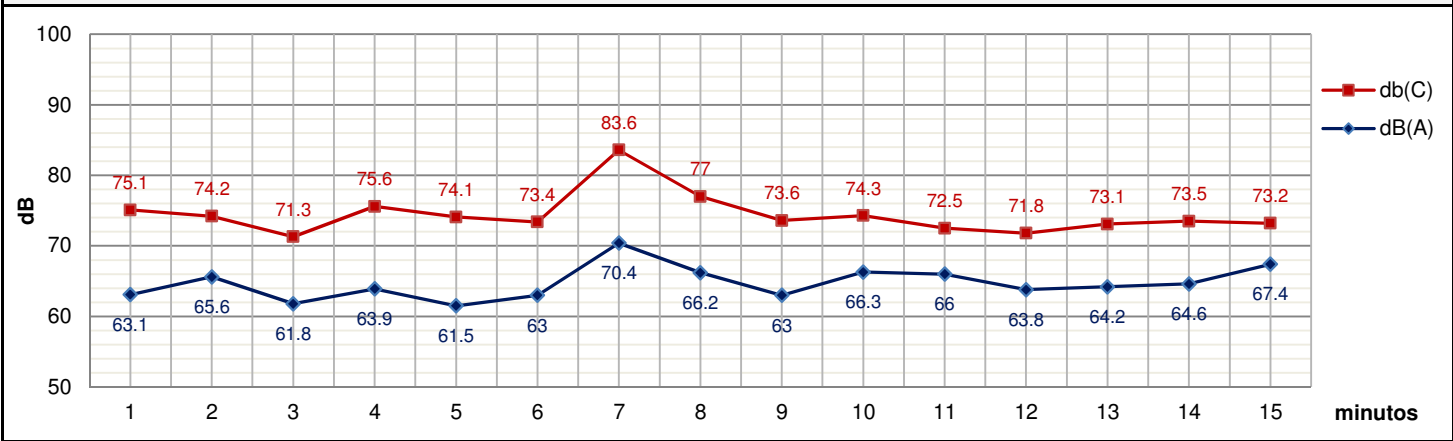
IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:				Fotografía:	
Código:	GC-15m-12h				
Coordenadas:	UTM WGS84 17S X: 721420 m, Y: 9679824 m				
Identificación:	Calle Gran Colombia. Muestreo de 15 minutos al medio día, en 3 subperíodos de 5 minutos				
Detalles del muestreo:		Parámetros meteorológicos:			
Fecha:	2018-03-08	Velocidad del Viento	1.4 m/s		
Hora Inicio:	12:21	Dirección del Viento	S		
Hora Fin:	12:57	Nubosidad	6 oct		
Calibración:	113.9 OK	Temperatura	20 °C		
Observaciones: Tercer monitoreo suspendido y reiniciado 30 minutos después por presencia de llovizna. Ruido Audible: Música de Negocios		Humedad	89 %		
		Presión Barométrica	754.3 hPa		
		Precipitaciones	Llovizna leve		

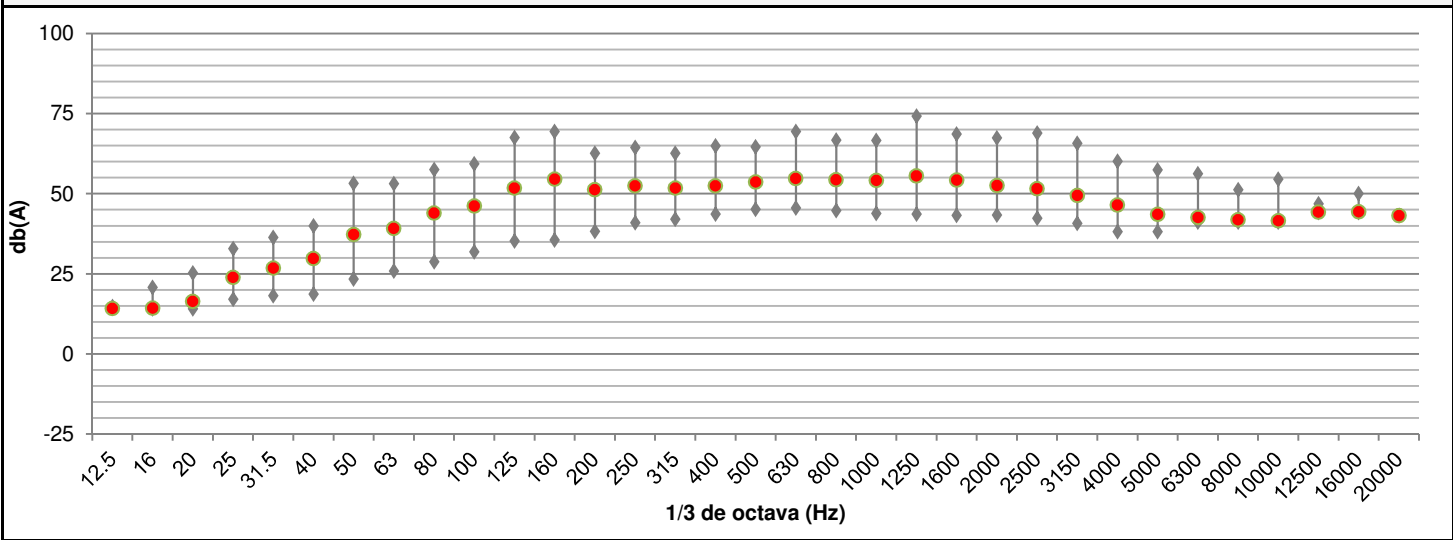
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	63.4	71.1	54.4	86.9	0	17	1	Bajo
		C	Slow	74.3	81.5	64.3	94.3				
II	5 min	A	Slow	66.7	77.1	57.6	93.3	0	7	3	Bajo
		C	Slow	78.4	91.3	67.2	102.7				
III	5 min	A	Slow	65.4	81.0	56.5	98.6	0	10	2	Alto
		C	Slow	72.9	82.8	65.2	98.7				
TOTAL	15 min	A	Slow	65.4	81.0	54.4	98.6	0	34	6	Bajo / Alto
		C	Slow	75.9	91.3	64.3	102.7				

COMPOSICIÓN TEMPORAL




COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

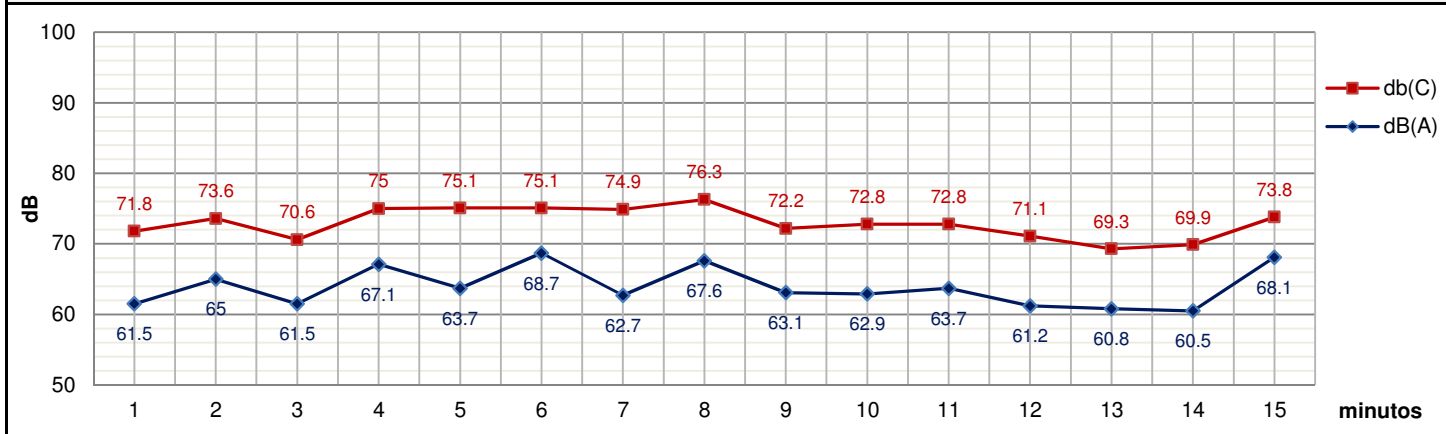
IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:				Fotografía:	
Código:	GC-15m-13h				
Coordenadas:	UTM WGS84 17S X: 721420 m, Y: 9679824 m				
Identificación:	Calle Gran Colombia. Muestreo de 15 minutos a la 1 PM, en 3 subperíodos de 5 minutos				
Detalles del muestreo:		Parámetros meteorológicos:			
Fecha:	2018-03-08	Velocidad del Viento	2.9	m/s	
Hora Inicio:	13:32	Dirección del Viento	S		
Hora Fin:	13:47	Nubosidad	4	oct	
Calibración:	113.9 OK	Temperatura	22.1	°C	
Observaciones:		Humedad	76	%	
Ruido Audible: Musica de negocios		Presión Barométrica	753.6	hPa	
		Precipitaciones	Ausencia		

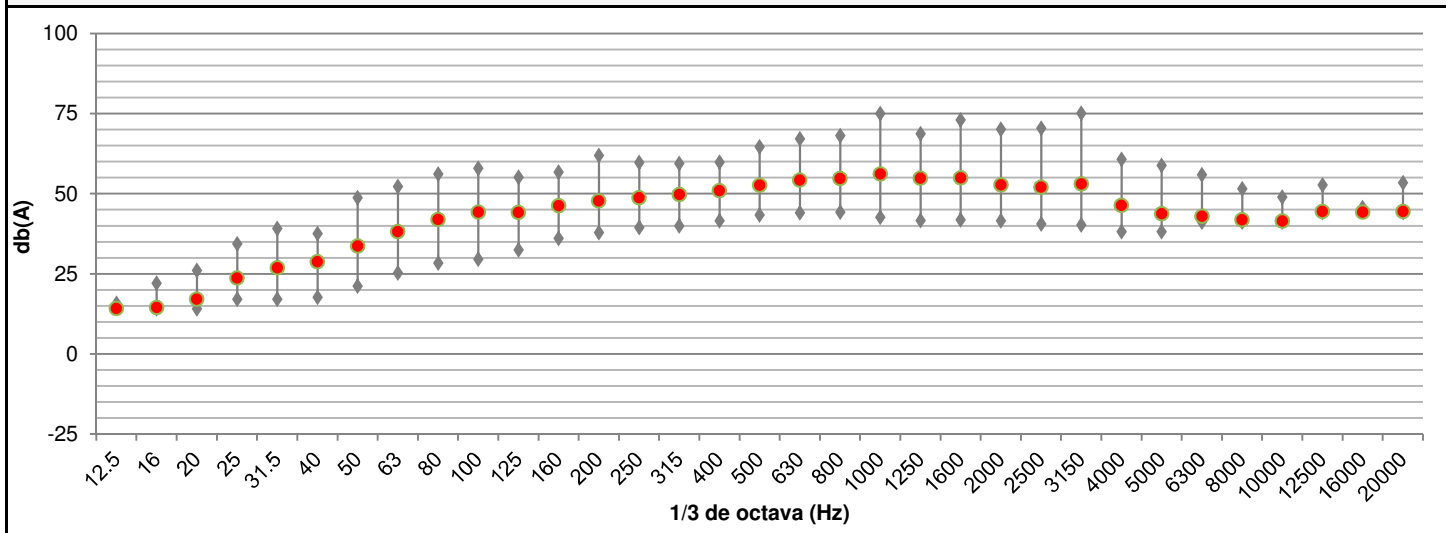
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	64.3	74.5	52.7	97.8	0	8	2	Bajo
		C	Slow	73.6	84.1	61.8	96.9				
II	5 min	A	Slow	65.8	83.0	56.6	103.3	0	15	0	Medio-Bajo
		C	Slow	74.5	82.9	64.7	102.5				
III	5 min	A	Slow	64.0	77.0	55.2	93.0	0	6	2	Medio
		C	Slow	71.7	80.3	63.3	92.6				
TOTAL	15 min	A	Slow	64.8	83.0	52.7	103.3	0	29	4	Medio
		C	Slow	73.4	84.1	61.8	102.5				

COMPOSICIÓN TEMPORAL




COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

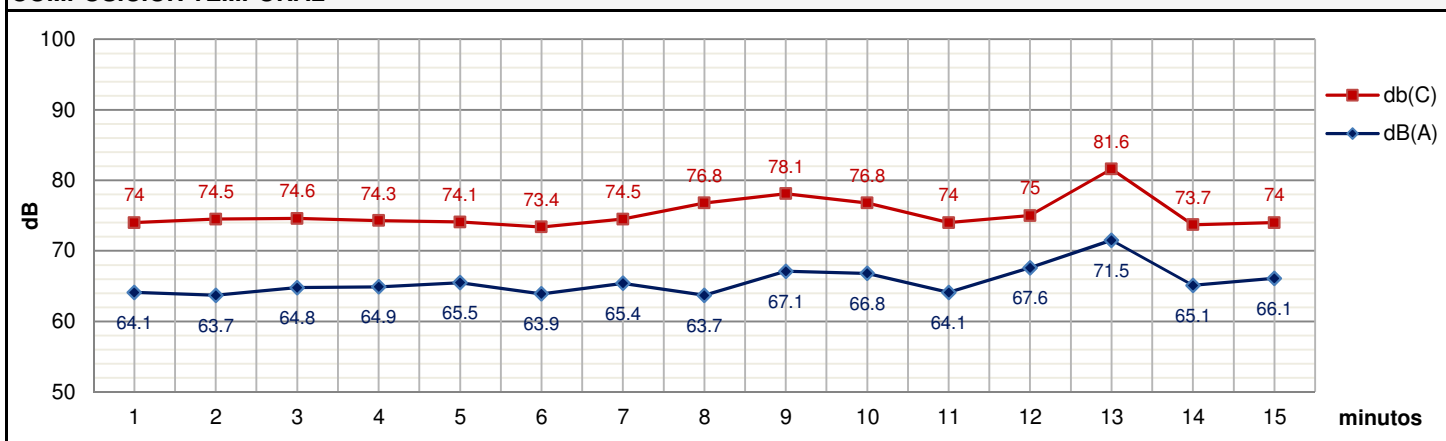
IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:				Fotografía:	
Código:	GC-15m-14h				
Coordenadas:	UTM WGS84 17S X: 721420 m, Y: 9679824 m				
Identificación:	Calle Gran Colombia. Muestreo de 15 minutos a las 2 PM, en 3 subperíodos de 5 minutos				
Detalles del muestreo:		Parámetros meteorológicos:			
Fecha:	2018-03-08	Velocidad del Viento	1.7	m/s	
Hora Inicio:	14:26	Dirección del Viento	SE		
Hora Fin:	14:43	Nubosidad	7	oct	
Calibración:	113.9 OK	Temperatura	22	°C	
Observaciones:		Humedad	66	%	
Ruido Audible: Musica de negocios, Vehiculos Parqueados en relenti		Presión Barométrica	752.6	hPa	
		Precipitaciones	Ausencia		

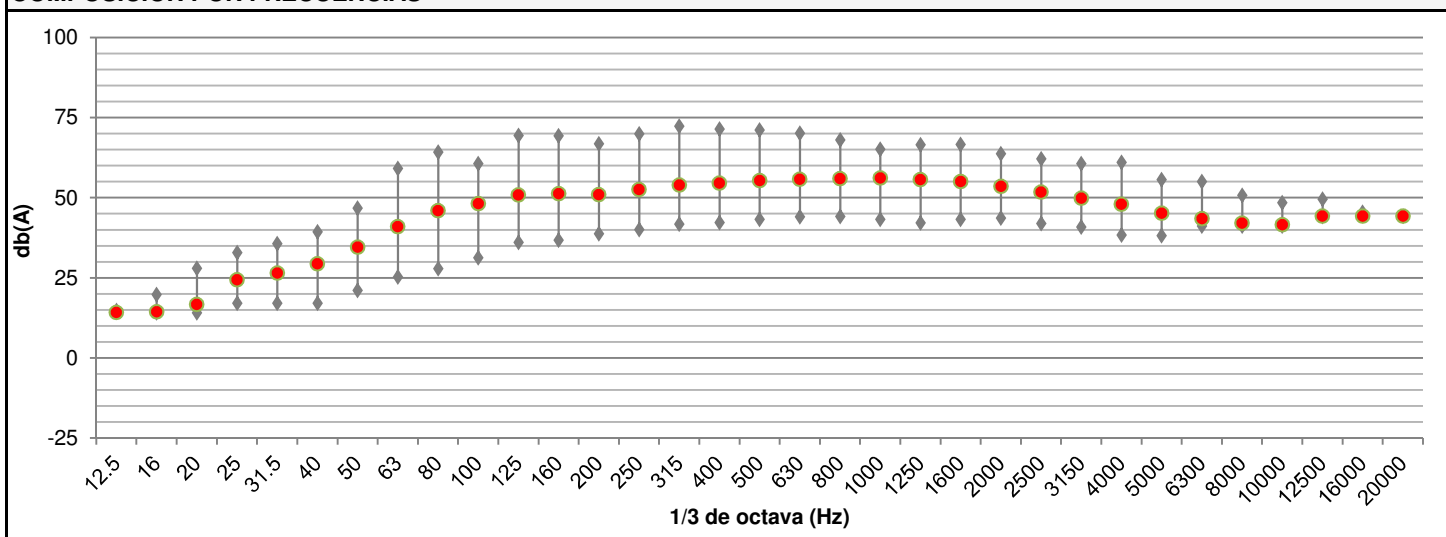
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	64.7	73.5	55.9	91.1	0	12	4	Bajo-Medio
		C	Slow	74.3	85.7	64.9	97.0				
II	5 min	A	Slow	65.6	73.7	54.7	93.3	0	11	5	Medio
		C	Slow	76.2	86.7	63.9	98.4				
III	5 min	A	Slow	67.7	84.2	56.7	103.3	1	14	1	Medio
		C	Slow	77.0	94.5	65.2	111.4				
TOTAL	15 min	A	Slow	66.2	84.2	54.7	103.3	1	37	10	Medio
		C	Slow	76.0	94.5	63.9	111.4				

COMPOSICIÓN TEMPORAL



COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:

Código:	GC-15m-18h		
Coordenadas:	UTM WGS84 17S	X: 721420 m, Y: 9679824 m	
Identificación:	Calle Gran Colombia. Muestreo de 15 minutos a las 6 PM, en 3 subperíodos de 5 minutos		

Fotografía:



Detalles del muestreo:

Fecha:	2018-03-08	Velocidad del Viento	0.8 m/s
Hora Inicio:	18:34	Dirección del Viento	SO
Hora Fin:	18:50	Nubosidad	6 oct
Calibración:	113.9 OK	Temperatura	17.3 °C

Parámetros meteorológicos:

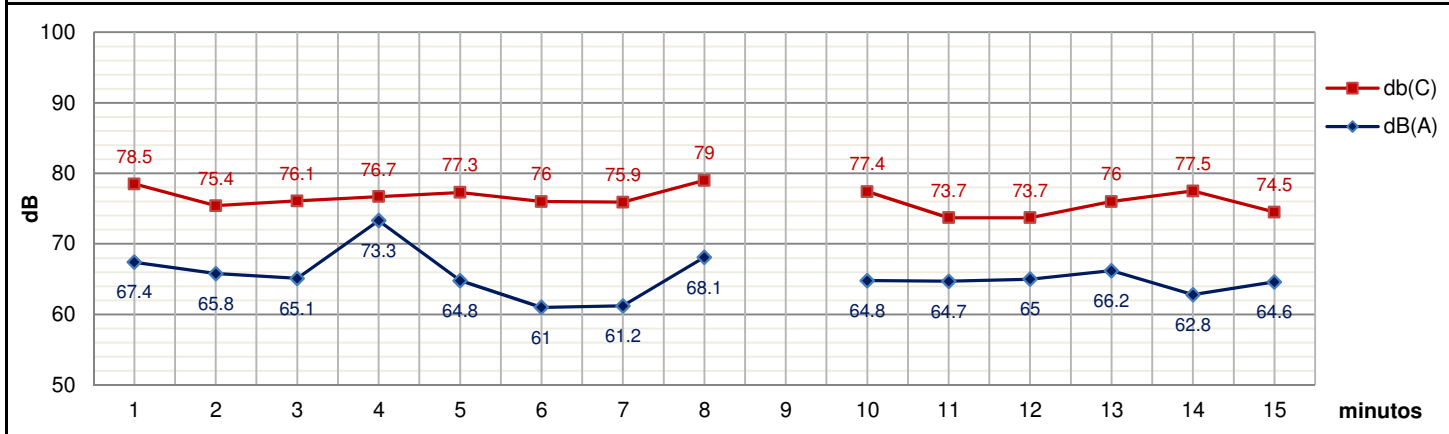
Humedad	72 %
Presión Barométrica	750.1 hPa
Precipitaciones	Ausencia

Observaciones:
Congestión vehicular, únicamente se cuentan los vehículos que pasan en frente del sonómetro. Paso de avión (se elimina el

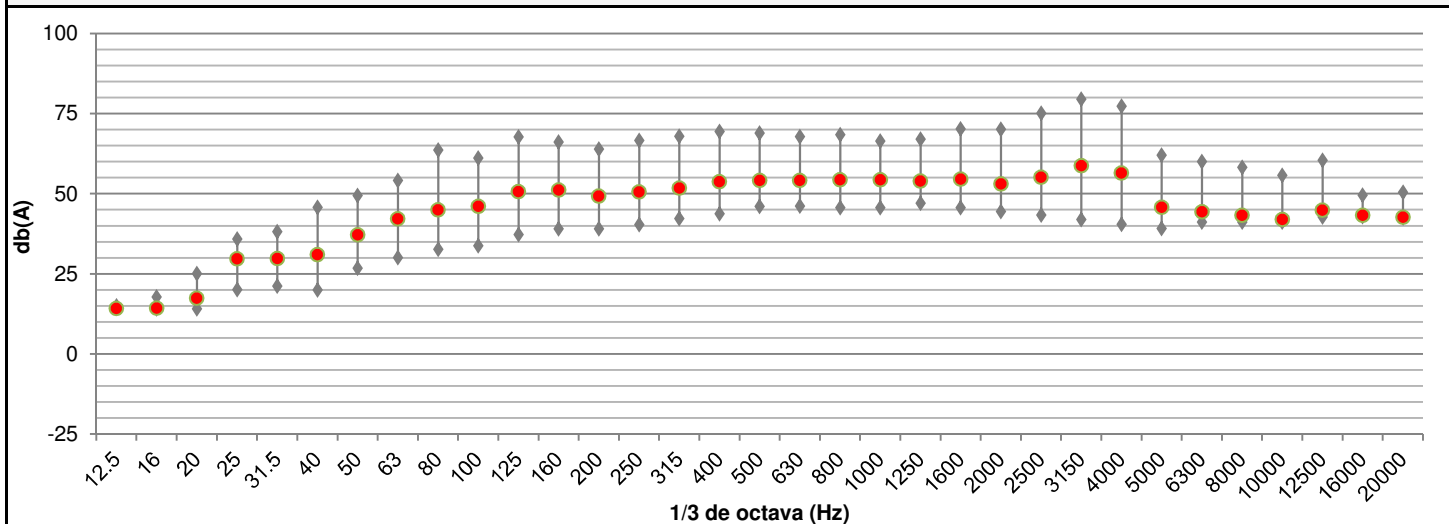
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	68.7	88.0	58.2	100.7	2	8	0	Medio
		C	Slow	76.9	91.1	71.9	105.0				
II	4 min	A	Slow	64.8	79.0	57.7	95.7	1	10	0	Medio
		C	Slow	77.4	90.9	71.8	102.0				
III	5 min	A	Slow	64.8	75.4	55.1	101.1	2	15	0	Medio
		C	Slow	75.3	82.6	65.4	105.5				
TOTAL	14 min	A	Slow	66.5	88.0	55.1	101.1	5	33	0	Medio
		C	Slow	76.6	91.1	65.4	105.5				

COMPOSICIÓN TEMPORAL



COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:

Código:	GC-15m-19h		
Coordenadas:	UTM WGS84 17S	X: 721420 m, Y: 9679824 m	
Identificación:	Calle Gran Colombia. Muestreo de 15 minutos a las 7 PM, en 3 subperíodos de 5 minutos		

Fotografía:



Detalles del muestreo:

Fecha:	2018-03-08
Hora Inicio:	19:28
Hora Fin:	19:44
Calibración:	113.9 OK

Parámetros meteorológicos:

Velocidad del Viento:	3.1 m/s
Dirección del Viento:	O
Nubosidad:	7 oct
Temperatura:	14.8 °C

Observaciones:

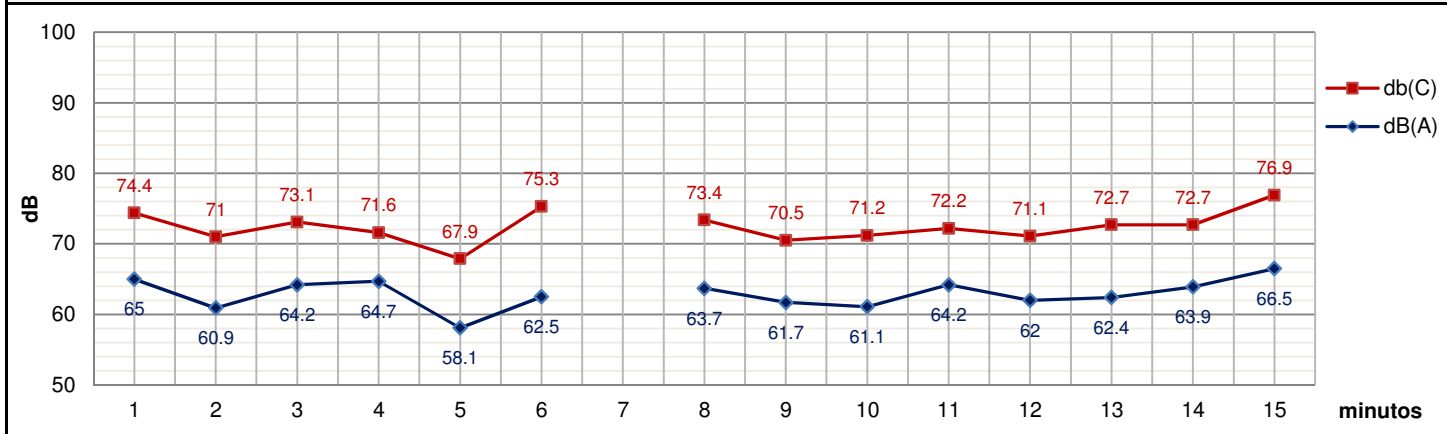
Ruido audible: Hotel (Reunión con música).
Alarmas de vehículos en subperíodo II

Humedad:	83 %
Presión Barométrica:	751.1 hPa
Precipitaciones:	Ausencia

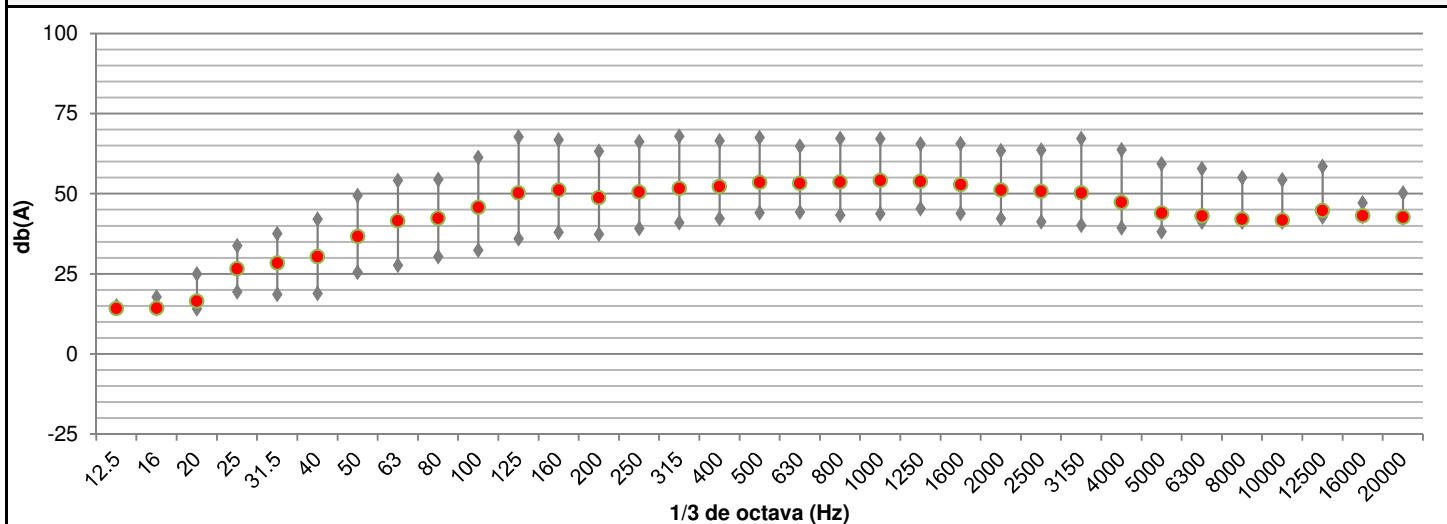
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	63.3	74.3	51.3	92.2	0	5	1	Medio
		C	Slow	72.1	82.7	63.2	95.3				
II	4 min	A	Slow	62.4	76.1	49.5	99.1	0	8	1	Bajo
		C	Slow	73.0	86.2	61.1	103.8				
III	5 min	A	Slow	64.1	76.4	50.2	90.6	1	8	1	Bajo
		C	Slow	73.7	87.8	62.1	100.2				
TOTAL	14 min	A	Slow	63.3	76.4	49.5	99.1	1	21	3	Medio
		C	Slow	73.0	87.8	61.1	103.8				

COMPOSICIÓN TEMPORAL



COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



PREDICCIÓN DE RUIDO POR TRÁFICO VEHICULAR Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE RUIDO UTILIZANDO EL MODELO HARMONOISE DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

IDENTIFICACIÓN DEL MUESTREO

Detalles del punto muestreado:

Código:	GC-15m-20h		
Coordenadas:	UTM WGS84 17S	X: 721420 m, Y: 9679824 m	
Identificación:	Calle Gran Colombia. Muestreo de 15 minutos a las 8 PM, en 3 subperíodos de 5 minutos		

Fotografía:



Detalles del muestreo:

Fecha:	2018-03-08	Velocidad del Viento	1.9 m/s
Hora Inicio:	20:13	Dirección del Viento	SO
Hora Fin:	20:22	Nubosidad	7 oct
Calibración:	113.9 OK	Temperatura	15 °C

Observaciones:

Ruido audible: Hotel (Reunión con música).
Alarmas de vehículos en subperíodo II

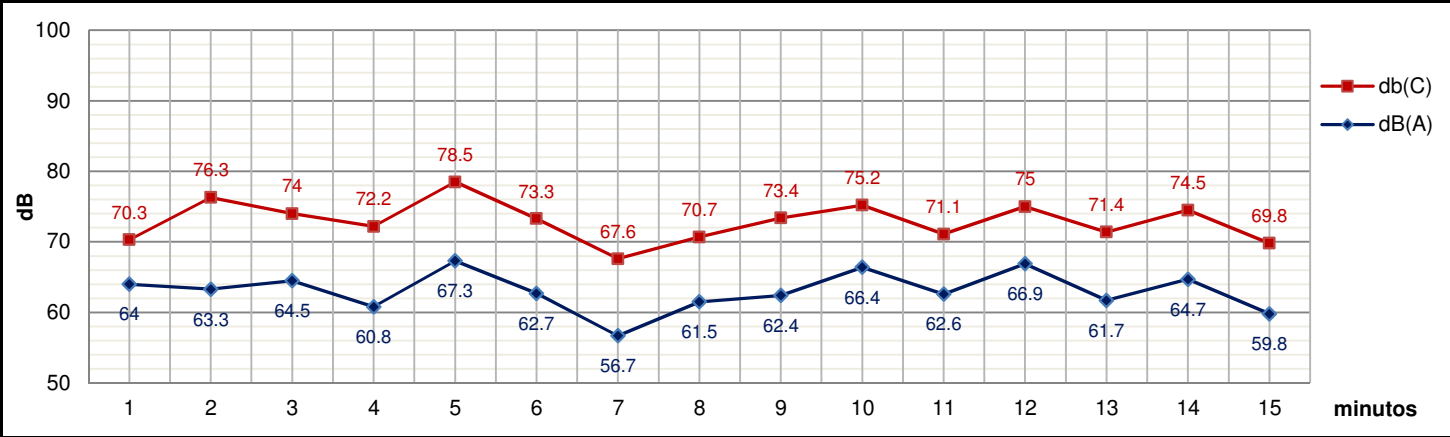
Parámetros meteorológicos:

Humedad	90 %
Presión Barométrica	752.3 hPa
Precipitaciones	Ausencia

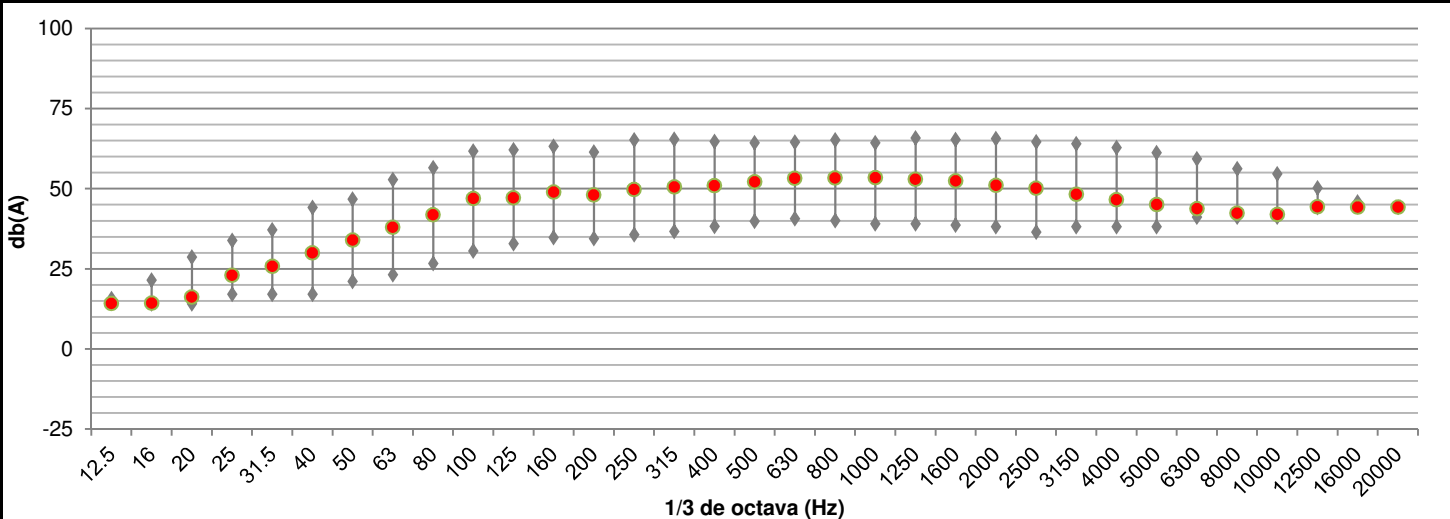
VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Período		Ruido Total (dB)						Tráfico (veh)			Flujo peatonal
ID	Duración	Ponderación		Avg	Max	Min	Peak	Pesados	Livianos	Motos	
I	5 min	A	Slow	64.5	75.9	50.7	94.2	0	6	3	Medio
		C	Slow	75.2	86.8	61.1	98.4				
II	4 min	A	Slow	62.9	77.1	51.5	91.5	0	6	2	Medio
		C	Slow	72.7	84.7	62.1	97.7				
III	5 min	A	Slow	62.1	72.5	52.0	91.2	0	13	0	Medio-Alto
		C	Slow	72.7	81.5	64.6	99.0				
TOTAL	14 min	A	Slow	63.3	77.1	50.7	94.2	0	25	5	Medio
		C	Slow	73.7	86.8	61.1	99.0				

COMPOSICIÓN TEMPORAL



COMPOSICIÓN POR FRECUENCIAS



APENDICE B.2

RESULTADOS DE MONITOREOS PUNTO R25

(Intersección Tarqui y Gran Colombia)

Predicción de Ruido por Tráfico Vehicular y Elaboración del mapa de Ruido utilizando el Modelo HARMONOISE del Centro Histórico de Cuenca

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO

Código:	R25	Coordenadas:	721471.9	9679805.9	2556
Punto de muestreo:	Gran Colombia				

DETALLE DE LOS MUESTREOS

	Horario 7h00	Horario 10h00
Fecha:	2018-Marzo-01	2018-Marzo-01
Hora Inicio:	07:21:02	10:03:17
Hora Fin:	07:29:47	10:12:44
Calibración Inicial:	113.9	113.9
Calibración Final:	113.9	113.9

Fotografías		
--------------------	---	---

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Parámetro	Horario 7h00	Horario 10h00
Velocidad del Viento	1.2 m/s	1.2 m/s
Dirección de Viento	SO	SO
Nubosidad	6 octas	3 octas
Temperatura	12 °C	14 °C
Humedad	76%	72%
Presión Barométrica	752.6 hPa	753.1 hPa
Precipitaciones	Ausencia	Ausencia

VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Ruido Total (dB)	Horario 07h00				Horario 10h00			
		Valor	Lmax	Lmin		Valor	Lmax	Lmin
	LA eq	72.6	77.4	66.2	LA eq	73.6	80.0	66.4
	LC eq	80.8	84.2	75.4	LC eq	81.3	84.4	78.4
	LA I eq	74.5	79.7	69.2	LA I eq	74.7	81.5	67.4
Ruido Residual (dB)	Horario 07h00				Horario 10h00			
		Valor	Lmax	Lmin		Valor	Lmax	Lmin
	LA eq	59.1	63.6	56.0	LA eq	68.6	73.7	65.8
	LC eq	71.6	77.5	68.3	LC eq	76.8	82.0	73.2
	LA I eq	63.5	68.8	57.8	LA I eq	70.7	77.0	65.9
Ruido Específico	Horario 07h00				Horario 10h00			
	Valor (dB)		Correcciones		Valor (dB)		Correcciones	
	Le	72.4	Kr	0.2	Le	71.9	Kr	1.7
	LCe	80.8	Krc	0.6	LCe	81.3	Kri	1.9
	Lle	74.1	Kri	0.4	Lle	72.5	Krc	2.2
	LK eq	72.4	Kbf	0	LK eq	71.9	Kbf	0
			Kimp	0			Kimp	0

OBSERVACIONES

Características del LK eq: Ruido específico sin características impulsivas y sin contenido energético alto en frecuencias bajas

Predicción de Ruido por Tráfico Vehicular y Elaboración del mapa de Ruido utilizando el Modelo HARMONOISE del Centro Histórico de Cuenca

VALORES ENCONTRADOS DETALLE

Período: Horario 7h00 Total

#	Lento A			Lento C			Impulsiva A		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min
1	67.7	75	60.8	77.8	80.7	72.8	71.7	75.4	68.7
2	68.1	71.8	60.7	79.4	84.6	72.7	73.2	79.7	66.4
3	70.5	73.8	68.7	80.3	83.2	77.1	73.8	80.2	68.6
4	72	76.1	67.7	82.3	84.8	76.3	76	81.5	69.7
5	72.6	79.3	59.6	82.4	86.1	76.1	76.1	79.6	71.3
6	74.5	77.8	70.2						
7	76.2	81.1	62.8						
8									
9									
10									
L eq	72.6	77.4	66.2	80.8	84.2	75.4	74.5	79.7	69.2

Período: Horario 7h00 Residual

#	Lento A			Lento C			Impulsiva A		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min
1	56.9	62.4	54.4	69.6	77.2	64.7	60.8	65.6	55.1
2	57.5	61.8	54.7	70.4	77.3	68.6	61.9	70	53.3
3	61.4	65.5	58	72.5	79.4	65.1	62	67.3	52.3
4				73	74.9	71.4	66.7	70.5	62.3
5									
6									
7									
8									
9									
10									
L eq	59.1	63.6	56.0	71.6	77.5	68.3	63.5	68.8	57.8

Período: Horario 10h00 Total

#	Lento A			Lento C			Impulsiva A		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min
1	72.8	78.3	67.4	79.2	85.9	70.4	73.5	80.2	67.1
2	73	76.2	67.5	79.6	81.9	78.4	74.4	80	65.4
3	73.1	79.6	68.3	79.9	83.5	76.9	74.4	80.5	68.1
4	73.8	83	56.9	80.1	81.8	79.1	74.4	80.4	67.7
5	74.8	80.1	65.3	80.3	82.8	77.7	75.4	81.7	67.3
6				81.4	85.1	74.5	75.5	84.4	68.4
7				82.3	85.1	79.4			
8				84.6	86.3	82.4			
9									
10									
L eq	73.6	80.0	66.4	81.3	84.4	78.4	74.7	81.5	67.4

Período: Horario 10h00 Residual

#	Lento A			Lento C			Impulsiva A		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min
1	65.7	69.7	63.3	75.8	83.7	67.5	70.8	78.9	62.5
2	67.1	75.5	61.4	76.1	79.2	74	71.3	79.3	59.1
3	69.6	72	67.5	76.7	82.3	69.9	71.3	74.3	68.1
4	70.4	75.1	67.8	77.3	80.3	74.7	71.9	78.2	68.9
5				77.3	78.8	75.3	72	76.6	68.3
6				77.4	84.6	73.3	40.1	44.1	36.7
7									
8									
9									
10									
L eq	68.6	73.7	65.8	76.8	82.0	73.2	70.7	77.0	65.9

Predicción de Ruido por Tráfico Vehicular y Elaboración del mapa de Ruido utilizando el Modelo HARMONOISE del Centro Histórico de Cuenca

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO

Código:	R25	Coordenadas:	721471.9	9679805.9	2556
Punto de muestreo:	Gran Colombia				

DETALLE DE LOS MUESTREOS

	Horario 13h00	Horario 15h00
Fecha:	2018-Marzo-01	2018-Marzo-01
Hora Inicio:	13:17:56	15:02:00
Hora Fin:	13:27:00	15:12:15
Calibración Inicial:	114	114
Calibración Final:	114	114

Fotografías		
--------------------	---	---

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Parámetro	Horario 13h00	Horario 15h00
Velocidad del Viento	1.4 m/s	1.7 m/s
Dirección de Viento	S	SE
Nubosidad	4 octas	7 octas
Temperatura	21 °C	22 °C
Humedad	75%	66%
Presión Barométrica	754.3 hPa	752.6 hPa
Precipitaciones	Ausencia	Ausencia

VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Ruido Total (dB)	Horario 13h00				Horario 15h00			
		Valor	Lmax	Lmin		Valor	Lmax	Lmin
	LA eq	71.3	76.0	67.3	LA eq	73.8	79.1	67.8
	LC eq	80.5	88.5	75.0	LC eq	82.9	87.3	78.1
	LA I eq	76.9	83.8	68.2	LA I eq	75.0	81.9	65.3
Ruido Residual (dB)	Horario 13h00				Horario 15h00			
		Valor	Lmax	Lmin		Valor	Lmax	Lmin
	LA eq	63.5	68.5	59.6	LA eq	66.2	71.0	62.7
	LC eq	73.3	77.4	68.8	LC eq	76.2	80.0	73.1
	LA I eq	72.3	79.8	64.6	LA I eq	67.2	71.4	62.5
Ruido Específico	Horario 13h00				Horario 15h00			
	Valor (dB)		Correcciones		Valor (dB)		Correcciones	
	Le	70.5	Kr	0.8	Le	73.0	Kr	0.8
	LCe	80.5	Krc	0.9	LCe	82.9	Kri	1.0
	Lle	75.1	Kri	1.8	Lle	74.2	Krc	0.8
	LKeq	70.5	Kbf	0	LKeq	73.0	Kbf	0
			Kimp	0			Kimp	0

OBSERVACIONES

Características del LKeq: Ruido específico sin características impulsivas y sin contenido energético alto en frecuencias bajas

Predicción de Ruido por Tráfico Vehicular y Elaboración del mapa de Ruido utilizando el Modelo HARMONOISE del Centro Histórico de Cuenca

VALORES ENCONTRADOS DETALLE

Período: Horario 13h00 Total

#	Lento A			Lento C			Impulsiva A		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min
1	68.4	73.2	64.4	78.2	85.6	73.1	75	82.1	66.6
2	69.3	72.2	66.4	78.5	81.1	75.4	75.2	82.2	66.7
3	70.9	78.1	66.4	79.5	82.9	72.4	76.2	82.1	69.9
4	72.3	74.9	69.9	82	87.5	74.8	76.6	82.5	67.8
5	73.5	78.2	67.5	83.7	94.6	77.7	77.2	84	69.3
6				77.9	81.2	74.3	79.5	87.2	68
7									
8									
9									
10									
L eq	71.3	76.0	67.3	80.5	88.5	75.0	76.9	83.8	68.2

Período: Horario 13h00 Residual

#	Lento A			Lento C			Impulsiva A		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min
1	61	64.5	57.7	70.8	74.6	67.2	71.1	79.1	61.2
2	63.2	67.3	59.2	72.8	77.1	69.5	72.1	80.3	66.2
3	63.5	67.9	58.9	73.1	78.6	66.4	72.4	80.4	61.8
4	64.1	71.3	57.7	73.2	78.5	68.2	72.5	80.7	63
5	65	68.7	62.6	74.1	76.9	69.2	73.1	78	67.3
6				75	77.5	70.7			
7									
8									
9									
10									
L eq	63.5	68.5	59.6	73.3	77.4	68.8	72.3	79.8	64.6

Período: Horario 15h00 Total

#	Lento A			Lento C			Impulsiva A		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min
1	71.3	76.3	66.1	78.1	81.2	74	72.6	78.5	66
2	71.7	76	66.4	79	80.9	76.6	73	79.5	64.9
3	72.3	77.2	61	80.3	84.5	75.9	73.5	78.2	66
4	74.4	79.6	65	84.3	90.1	77.1	73.5	80.2	60.7
5	74.9	81.1	68	85	89.5	76.8	77	83.6	66.1
6	75.9	81.4	72.2	85.1	88.7	82.6	77.4	85.7	65.8
7									
8									
9									
10									
L eq	73.8	79.1	67.8	82.9	87.3	78.1	75.0	81.9	65.3

Período: Horario 15h00 Residual

#	Lento A			Lento C			Impulsiva A		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min
1	62.5	65	60.2	74.4	76.7	72.4	64.4	67.2	60.6
2	63.9	64.6	63.4	75.1	79.4	72.9	65.2	69.5	61.6
3	65.1	74.1	60.8	76.5	77.5	75.8	67.1	70.9	63
4	65.4	69.5	61.8	77.2	82.7	69.4	69.9	74.5	64
5	67.3	71.7	62.1	77.3	81	72.7			
6	69.5	72.9	65.5						
7									
8									
9									
10									
L eq	66.2	71.0	62.7	76.2	80.0	73.1	67.2	71.4	62.5


Predicción de Ruido por Tráfico Vehicular y Elaboración del mapa de Ruido utilizando el Modelo HARMONOISE del Centro Histórico de Cuenca

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO

Código:	R25	Coordenadas:	721471.9	9679805.9	2556
Punto de muestreo:	Gran Colombia				

DETALLE DE LOS MUESTREOS

	Horario 18h00	Horario 21h00
Fecha:	2018-Marzo-01	2018-Marzo-01
Hora Inicio:	18:20:41	20:59:33
Hora Fin:	22:29:56	21:12:43
Calibración Inicial:	114	114
Calibración Final:	114	114

Fotografías		
--------------------	---	---

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Parámetro	Horario 18h00	Horario 21h00
Velocidad del Viento	0.8 m/s	1.9 m/s
Dirección de Viento	SO	SO
Nubosidad	6 octas	7 octas
Temperatura	17.3 °C	15 °C
Humedad	72%	90%
Presión Barométrica	750.1 hPa	752.3 hPa
Precipitaciones	Ausencia	Ausencia

VALORES ENCONTRADOS PROMEDIO

Ruido Total (dB)	Horario 18h00				Horario 21h00			
		Valor	Lmax	Lmin		Valor	Lmax	Lmin
	LA eq	73.0	77.5	67.8	LA eq	71.4	76.7	64.8
	LC eq	81.8	85.3	78.8	LC eq	79.6	83.5	75.8
	LA I eq	77.5	85.3	66.7	LA I eq	74.1	81.1	65.3
Ruido Residual (dB)	Horario 18h00				Horario 21h00			
		Valor	Lmax	Lmin		Valor	Lmax	Lmin
	LA eq	65.8	68.9	63.0	LA eq	63.6	67.0	59.6
	LC eq	76.7	78.9	75.2	LC eq	73.3	76.9	70.0
	LA I eq	69.2	74.9	64.8	LA I eq	66.4	72.5	60.7
Ruido Específico	Horario 18h00				Horario 21h00			
	Valor (dB)		Correcciones		Valor (dB)		Correcciones	
	Le	72.1	Kr	0.9	Le	70.6	Kr	0.8
	LCe	81.8	Krc	1.6	LCe	79.6	Kri	1.2
	Lle	76.8	Kri	0.7	Lle	73.3	Krc	0.8
	LKeq	72.1	Kbf	0	LKeq	70.6	Kbf	0
			Kimp	0			Kimp	0

OBSERVACIONES

Características del LKeq: Ruido específico sin características impulsivas y sin contenido energético alto en frecuencias bajas

Predicción de Ruido por Tráfico Vehicular y Elaboración del mapa de Ruido utilizando el Modelo HARMONOISE del Centro Histórico de Cuenca

VALORES ENCONTRADOS DETALLE

Período: Horario 18h00 Total

#	Lento A			Lento C			Impulsiva A		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min
1	70.5	75.1	68.5	80	83.3	78	74.9	82.4	65.9
2	70.5	74.7	66.1	80.5	84.1	77.6	75	84.1	65.2
3	71.6	74.8	65.8	81.5	84.6	78.7	77.9	85.7	67.3
4	74.4	77.5	69.9	81.9	88.1	78.6	78.5	86	68.7
5	75.5	81.3	67.5	82.1	84.1	79.9	79.3	86.8	65.1
6				82.5	85.2	75.7			
7				83.3	85.8	81			
8									
9									
10									
L eq	73.0	77.5	67.8	81.8	85.3	78.8	77.5	85.3	66.7

Período: Horario 18h00 Residual

#	Lento A			Lento C			Impulsiva A		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min
1	63.1	66.9	60.2	74.7	76	72.6	66.6	71.6	61.8
2	65.1	66.6	62.4	76	78.6	73.1	68.6	72.5	65.3
3	65.5	69.9	60.1	77.1	78.5	76.1	69.5	77.2	65.6
4	66.3	68.9	63.7	78.1	81.1	77.2	69.6	74.9	64.9
5	67.6	70.6	65.8				70.6	75.9	65.2
6									
7									
8									
9									
10									
L eq	65.8	68.9	63.0	76.7	78.9	75.2	69.2	74.9	64.8

Período: Horario 21h00 Total

#	Lento A			Lento C			Impulsiva A		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min
1	68.9	74	62.6	78.4	84	76.5	71.7	79.4	59.1
2	70.1	75.8	62.1	78.5	82.3	74.2	71.8	78.7	63.9
3	70.2	72.9	67.4	79.1	80.8	75	73.1	80.5	62.2
4	70.6	75.7	58	79.5	83.9	74.5	74	81.6	67.3
5	73.2	79.1	66.9	81.6	85.2	77.7	74.4	82.8	63.2
6	73.3	79.1	65.6				75	81.9	66.2
7							76.5	81.5	68.4
8									
9									
10									
L eq	71.4	76.7	64.8	79.6	83.5	75.8	74.1	81.1	65.3

Período: Horario 21h00 Residual

#	Lento A			Lento C			Impulsiva A		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min
1	59.4	62.1	56.9	71.7	73.6	70.3	62.4	66.6	57.3
2	62.5	64.4	60.8	72	74.2	70.2	65.6	73	58.6
3	63.8	67.5	60.8	72.6	75.1	69.1	65.9	73.4	58.8
4	64.9	66.6	61.2	73	76.8	68.1	66	72.8	60.5
5	65.1	70.1	55.8	73.3	75.4	72.1	67.5	72.1	60.8
6				75.9	81.2	69	68.5	74	64.3
7									
8									
9									
10									
L eq	63.6	67.0	59.6	73.3	76.9	70.0	66.4	72.5	60.7

APENDICE C

Certificados de Calibración Sonómetro



Certificate of Calibration

Certificate Number: 1705310829AC300009284

Model: AC-300 Acoustic Calibrator

Date Issued: 31-May-2017

S/N: AC300009284

On this day of manufacture and calibration, 3M certifies that the above listed product meets or exceeds the performance requirements of the following acoustic standard(s):

ANSI S1.40-2006 (R2011) - Specifications and Verification Procedures for Sound Calibrators
IEC 60942:2003 / EN60942-2003 Electroacoustics Sound Calibrators / Class 1

Test Conditions: Temp: 18-25°C Humidity: 20-80% R.H. Barometric Pressure: 950-1050 mBar

Test Procedure: S057-879

Reference Standard(s):

Device	Ref Standard Cal Due	Uncertainty - Estimated at 95% Confidence Level (k=2)
B&K Ensemble	10/19/2017	+/- 2.2% Acoustic (0.19dB)
Fluke 45	3/8/2019	+/- 1.4% AC Voltage, +/-0.1% DC Voltage

Calibrated By:


Janet Pompe - Assembler

In order to maintain best instrument performance over time and in the event of inspection, audit or litigation, we recommend the instrument be recalibrated annually. Any number of factors may cause the calibration to drift before the recommended interval has expired.
See user manual for more information.

All equipment used in the test and calibration of this instrument is traceable to NIST, and applies only to the unit identified above.
This report must not be reproduced, except in its entirety, without the written approval of 3M.



EU Declaration of Conformity

Certificate Number: 1705310829AC300009284

Product Line: Acoustic Calibrator

Model: AC-300 Acoustic Calibrator

S/N: AC300009284

Directives Covered:

- > EMC/ Council Directive 2014/30/EU on Electromagnetic Compatibility
- > Safety / Council Directive 2014/35/EU on Low Voltage Equipment Safety
- > RoHS / Council Directive 2011/65/EC (June 8, 2011) on the restriction and use of certain hazardous substances
- > WEEE / Council Directive 2002/96/EC Waste Electrical and Electronic Equipment

The basis on which conformity is being declared:

EN 61326-1 (2005) Electrical equipment for measurement, control and laboratory use - EMC requirements
Group 1, Class B Equipment (emissions)

EN 61326-1 (2005) Electrical equipment for measurement control and laboratory use - EMC requirements
Industrial location immunity

IEC 61010-1 (2010) Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use
Part 1: General Requirements

CFR:47 (2008) Code of Federal Regulations: Part 15 Subpart B - Radio Frequency Devices - Unintentional Radiators

ANSI S1.40-2006 (R2011) - Specifications and Verification Procedures for Sound Calibrators

IEC 60942:2003 / EN60942-2003 Electroacoustics Sound Calibrators / Class 1

This instrument is considered WEEE Category 9 (monitoring & control instruments), and therefore falls within the scope of the RoHS directive. 3M will work towards complying with the intent of the RoHS Directive in a timely manner, as conformity is not required until 22 July 2017 for Category 9 instruments. Note: This certification applies to all standard options and accessories supplied with the instrument.

At the end of its life cycle, this product, and any internal lithium cell, must be sent to a WEEE recycling center, and is marked accordingly.

The technical construction file required by this directive is maintained in Oconomowoc, WI USA

Mike Wurm - Technical Manager / Detection Solutions, 3M Company



Certificate of Calibration

Certificate Number: 1705110218BLR050004

Model: SoundPro SP DL-1-1/3

Date Issued: 11-May-2017

S/N: BLR050004

On this day of manufacture and calibration, 3M certifies that the above listed product meets or exceeds the performance requirements of the following acoustic standard(s):

ANSI S1.4 1983 (R 2006) - Specification for Sound Level Meters / Type 1

ANSI S1.43 1997 (R 2007) - Specification for Integrating - Averaging Sound Level Meters / Type 1

IEC 61672-1 (2002) - Electro acoustics – Sound Level Meters – Part 1: Specifications / Class 1

Test Conditions: Temp: 18-25°C Humidity: 20-80% R.H. Barometric Pressure: 950-1050 mBar

Test Procedure: S053-899

Subassemblies:

B&K 4936	3028783
SPro Preamp	04172355

Reference Standard(s):

Device	Ref Standard Cal Due	Uncertainty - Estimated at 95% Confidence Level (k=2)
B&K Ensemble	10/19/2017	+/- 2.2% Acoustic (0.19dB)
Fluke 45	3/8/2019	+/- 1.4% AC Voltage, +/-0.1% DC Voltage

Calibrated By:


Janet Pompe - Assembler

In order to maintain best instrument performance over time, and in the event of inspection, audit or litigation, we recommend the instrument be recalibrated annually. Any number of factors may cause the calibration to drift before the recommended interval has expired. See user manual for more information.

All equipment used in the test and calibration of this instrument is traceable to NIST, and applies only to the unit identified above. This report must not be reproduced, except in its entirety, without the written approval of 3M.



EU Declaration of Conformity

Certificate Number: 1705110218BLR050004

Product Line: Sound Level Meter

Model: SoundPro SP DL-1-1/3

S/N: BLR050004

Directives Covered:

- > EMC / Council Directive 2014/30/EU on Electromagnetic Compatibility
- > Safety / Council Directive 2014/35/EU on Low Voltage Equipment Safety
- > RoHS / Council Directive 2011/65/EC (June 8, 2011) on the restriction and use of certain hazardous substances
- > WEEE / Council Directive 2002/96/EC Waste electrical and electronic equipment

The basis on which conformity is being declared:

EN 61326-1 (2005) Electrical equipment for measurement, control and laboratory use – EMC requirements, Group 1, Class B Equipment (emissions).

EN 61326-1 (2005) Electrical equipment for measurement, control and laboratory use – EMC requirements, Industrial Location Immunity.

IEC61010-1 (2010) Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use Part 1: General requirements.

IEC60268-16 (2003) Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index - (If option is installed)

CFR:47 (2008) Code of Federal Regulations: Part 15 Subpart B - Radio Frequency Devices - Unintentional Radiators.

ANSI S1.4 1983 (R 2006) - Specification for Sound level Meters / Type 1

ANSI S1.43 1997(R 2007) - Specification for Integrating-Averaging Sound Level Meters / Type 1

IEC 61672-1 (2002)) - Electro acoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications / Class 1

ANSI S1.11-2004 (R2009) Octave-Band and Fractional-Octave-Band Analog and Digital Filters / Type 1

IEC 61260 (2001) Electroacoustics - Octave-Band and Fractional-Octave-Band Filters / Class 1

This instrument is considered WEEE Category 9 (monitoring & control instruments), and therefore falls within the scope of the RoHS directive. 3M will work towards complying with the intent of the RoHS Directive in a timely manner, as conformity is not required until 22 July 2017 for Category 9 instruments. Note: This certification applies to all standard options and accessories supplied with the instrument.

At the end of its life cycle, this product, and any internal power cell, must be sent to a WEEE recycling center, and is marked accordingly.

The technical construction file required by this directive is maintained in Oconomowoc, WI USA

Mike Wurm - Technical Manager / Detection Solutions, 3M Company