



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

EVALUACIÓN DE IMPACTO ACÚSTICO DEL TRÁFICO RODADO EN EL CENTRO
URBANO DE LA CIUDAD DE MACHALA A PARTIR DE MODELAMIENTO
ACÚSTICO Y MAPAS DE RUIDO

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

Profesor Guía
Ing. Luis Alberto Bravo Moncayo

Autor
Juan Carlos Gonzaga Aguilar

Año
2015

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Luis Alberto Bravo Moncayo
Ingeniero Acústico
C.I. 1711710606

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

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

Juan Carlos Gonzaga Aguilar
C.I. 0704443217

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mis padres Carlos y Lorena, y mis hermanos Andrea y Daniel que me han brindado confianza y firmeza.

A la Universidad de Las Américas y sus docentes por los saberes proporcionados; especialmente a mi tutor de tesis quien ha sabido direccionar la culminación de mi carrera.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a las personas que siempre estuvieron presentes para brindarme toda su ayuda que gracias a su amor y sabiduría, influyeron en mis decisiones, para lograr los objetivos propuestos. Con todo mi cariño esta tesis la dedico a ustedes:

Lorena

Carlos

Esther Judith

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolló mapas de ruido, haciendo uso de modelamiento computacional con el fin de obtener información sobre la incidencia del impacto acústico en centro urbano del Cantón Machala. El diseño de los mapas se realizó a partir de la información recabada en campo y modelos matemáticos programados en el software SoundPlan 6.3. Se aplicaron normativas internacionales de modelamiento acústico que han sido utilizadas en el país y han entregado resultados aceptables. Para validar los mapas sonoros, se llevaron a cabo mediciones en tiempo real a partir de las cuales se consiguieron resultados que permiten comparar los modelos predictivos con muestreo en la zona de estudio. Una vez generados los mapas, se presentan los resultados entregados por el software y las mediciones para posteriormente analizarlos y evaluar el impacto ocasionado por el ruido incidente. La evaluación se realizó en función de parámetros establecidos por normas nacionales e internacionales, orientándose al confort y los efectos que puede ocasionar el ruido a las personas expuestas al mismo. Así mismo se evaluó la afectación de los residentes y personas que desarrollan sus actividades en el sector en función del efecto más crítico ocasionado por el ruido.

El objetivo de la presente investigación consiste en evaluar el impacto acústico ocasionado por el ruido de tráfico rodado en una zona del centro de Machala, mediante mapas de ruido obtenidos a través de modelamiento computacional. En el primer capítulo se explican los fundamentos teóricos sobre los cuales se realizó el trabajo de investigación, posteriormente en el capítulo segundo se detalla la metodología a partir de la cual se llevó a cabo cada una de las etapas del proyecto; de esta forma se presentan los resultados que han sido obtenidos durante el proceso de la investigación y ejecución del proyecto, mismos que se plasman en el tercer capítulo. Por último en el capítulo cuarto se entrega un diagnóstico y evaluación de la zona en función de los mapas de ruido para concluir el trabajo con sus recomendaciones respectivas.

ABSTRACT

The current paper developed noise maps using acoustic modeling to obtain information about the effect of acoustic impact in the urban downtown of Machala canton. The information obtained in the field will permit to generate the maps mentioned before. There will also be real time measurements to obtain results that validate the predictive models with the information collected in the place where the study took place. Once obtained the maps, all the information that will be delivered for the evaluation of the incident noise impact, which will be analyzed by the established parameters by national and international standards. Likewise, there will be an assessment of the most critical effect caused by noise on the residents and the people that work in that area. Likewise, the way noise affects to residents and people who perform activities in function of its most critical impact caused by the noise.

The objective of this research is to evaluate the acoustic impact caused by the road traffic noise in a downtown zone of Machala, obtained through a computational modeling. Chapter number one explains the theoretical foundations upon which the current research performed. Chapter number two explains in detail, the methodology used in each step of the project. In this way, the results obtained are introduced and executions of the project are explained within Chapter number three. Finally, chapter four provides of a diagnostics and evaluation of the referred zone regarding to the noise maps in order to conclude the research followed by the respective recommendations.

Introducción

Se recoge en la Constitución de la República del Ecuador la necesidad de contribuir a la vigencia de un Estado de convivencia social que se caracterice por el respeto a los demás y en este marco contribuir al Buen Vivir. Entre las competencias que tienen los Gobiernos Autónomos Descentralizados del país, se encuentra la regulación de las emisiones sonoras, especialmente en los cascos urbanos de las grandes ciudades, dada la naturaleza de vehicular tanto de vehículos pesados como livianos y la afectación que se provoca en la ciudadanía.

En el caso de la ciudad de Machala con 245.972 habitantes según el censo nacional de población realizado el año 2010 y con una proyección de 260.000 al año 2014, es una zona de alta concentración urbana y de fuerte actividad productiva, conocida como la capital bananera del mundo, denominada así por su notable producción de esta fruta; además se caracteriza por la producción acuícola y últimamente la actividad turística, factores que ameritan una atención oportuna a sus condiciones ambientales y a la calidad acústica.

Ante la realidad local es necesario evaluar el impacto acústico ocasionado por el ruido de tráfico en una zona del centro de Machala, a través de mapas de ruido generados mediante modelamiento acústico con la utilización de la herramienta SoundPLAN 6.3, que permite obtener una representación de los niveles de ruido y las principales variables que influyen en su generación; para ello se realizó un levantamiento de información y mediciones en puntos representativos de la zona en los cuales la actividad humana se ve mayormente afectada, situación que permitió obtener mapas de ruido del periodo diurno y nocturno, que resultan ser el insumo para plasmar un análisis de resultados y redactar el diagnóstico de la situación actual de la zona, en términos de calidad acústica recomendada por Organismos y Normativas Internacionales.

El presente trabajo de investigación está fundamentado en los estudios de campo que se contrasta con la información bibliográfica que consta en el marco teórico que será de fundamental importancia para conferir mayor confianza en el estudio realizado.

Antecedentes

Evaluar el impacto acústico de una actividad existente, consiste en predecir y conocer el nivel de ruido que produce o producirá dicha actividad y que está afectando significativamente a las personas, en calidad de usuarios de los espacios urbanos y de los edificios o construcciones del sector a intervenir.

La evaluación del impacto sonoro difiere según se trate, de una situación existente o de establecer una nueva actividad. En el caso del constante flujo de tráfico en el casco urbano del cantón Machala provincia de El Oro, interesa conocer sus niveles sonoros existentes en el entorno, con el fin de determinar la calidad del ambiente en relación al confort acústico y salud de las personas; así mismo la variedad de efectos que influyen en el grado de afectación causado por el ruido.

La investigación permitirá tomar medidas correctoras adecuadas, para limitar las actividades compatibles con el ruido; cuyo propósito consiste en conocer la distribución espacial y temporal de los niveles sonoros de un entorno urbano, así mismo se trata de obtener información sobre varios aspectos del sector para utilizarla en la generación de los mapas de ruido. Luego de procesar la información a través de software de modelamiento acústico que nos permite visualizar el comportamiento del ruido de manera predictiva, se puede evaluar el impacto acústico en la zona urbana delimitada para el estudio.

Es importante tener en cuenta que la medida de mayor efectividad consiste en un adecuado ordenamiento territorial sobre las áreas urbanas como en los espacios públicos cercanos a los focos poblacionales. Adicional al correcto

planeamiento urbano se deben asumir medidas complementarias con el objetivo de reducir la emisión de ruido y las destinadas a obstaculizar su transmisión en el ambiente.

Alcance

El alcance se centra en la evaluación del impacto acústico y la elaboración de un mapa de ruido de la zona central urbana regenerada de la ciudad de Machala. Esta zona es considerada como el casco productivo de la ciudad, puesto que allí se encuentran ubicadas instituciones gubernamentales, oficinas en general, bancos, locales comerciales, además de instituciones educativas. Al ser éste un sector muy concurrido por la ciudadanía en horas del día, tarde y noche, se considera importante hacer el análisis del impacto acústico producido por el ruido de tráfico. La zona de estudio es de 24 cuadras tomando como eje el parque central (2.2 Km²).

Se realizó un mapa de ruido a partir de modelamiento computacional, para los cuales se utilizó el software SoudPlan 6.3, mismo que se validó con mediciones acústicas en tiempo real y puntos estratégicos del sector en estudio.

Justificación

El análisis de estudio de impacto acústico basa su relevancia en las consecuencias que se generan en la población, cuando el ruido sobrepasa los niveles tolerables. Según la Organización Mundial de la Salud, más de 3 cuartos de la población que vive en los centros urbanos está expuesta a un nivel de ruido superior al recomendado (Cenjor & Villacampa, 2006). Esto se refleja en la calidad de vida de los ciudadanos, manifestándose negativamente en su salud física y emocional.

Los mapas de ruido se constituyen en herramientas estratégicas de planificación y evaluación del ruido en cada sector. Para los gobiernos locales,

resulta muy conveniente tener mapas sonoros de la ciudad, puesto que ayudan a tomar decisiones sobre la organización territorial y la orientación del crecimiento urbanístico. En este caso servirá además como línea base para realizar futuras comparaciones y proyecciones.

Objetivo General

Evaluar el impacto acústico ocasionado por el ruido de tráfico rodado en una zona del centro de Machala, mediante mapas de ruido obtenidos a través de modelamiento computacional.

Objetivos específicos

- Levantar el modelo digital de la zona de estudio con el fin de realizar el modelamiento acústico del ruido de tráfico.
- Obtener una base de datos de las principales variables que influyen en la generación de los niveles de ruido.
- Realizar mediciones de los puntos más representativos de la zona en los cuales la actividad humana se vea afectada por el ruido.
- Obtener los mapas de ruido del periodo diurno y nocturno, a través del software *SoundPLAN 6.3*
- Analizar los resultados obtenidos con el modelo computacional y mediciones en los puntos estratégicos.
- Realizar el diagnóstico de la situación actual de la zona en términos de calidad acústica recomendada por Organismos y Normativas Internacionales.

1. Capítulo I: Fundamentos teóricos

1.1. Parámetros Físicos del Sonido

Los parámetros físicos del sonido son las condiciones y propiedades físicas que presenta una onda, para que esta pueda ser percibida por el sistema auditivo. El origen del sonido es fundamentado por la acústica, ciencia que estudia su generación, propagación en los diferentes medios y los fenómenos físicos relacionados con la onda sonora.

1.1.1. Sonido

El sonido es una o varias ondas longitudinales que se propagan en un medio elástico, producida por una vibración mecánica que provoca una sensación auditiva.

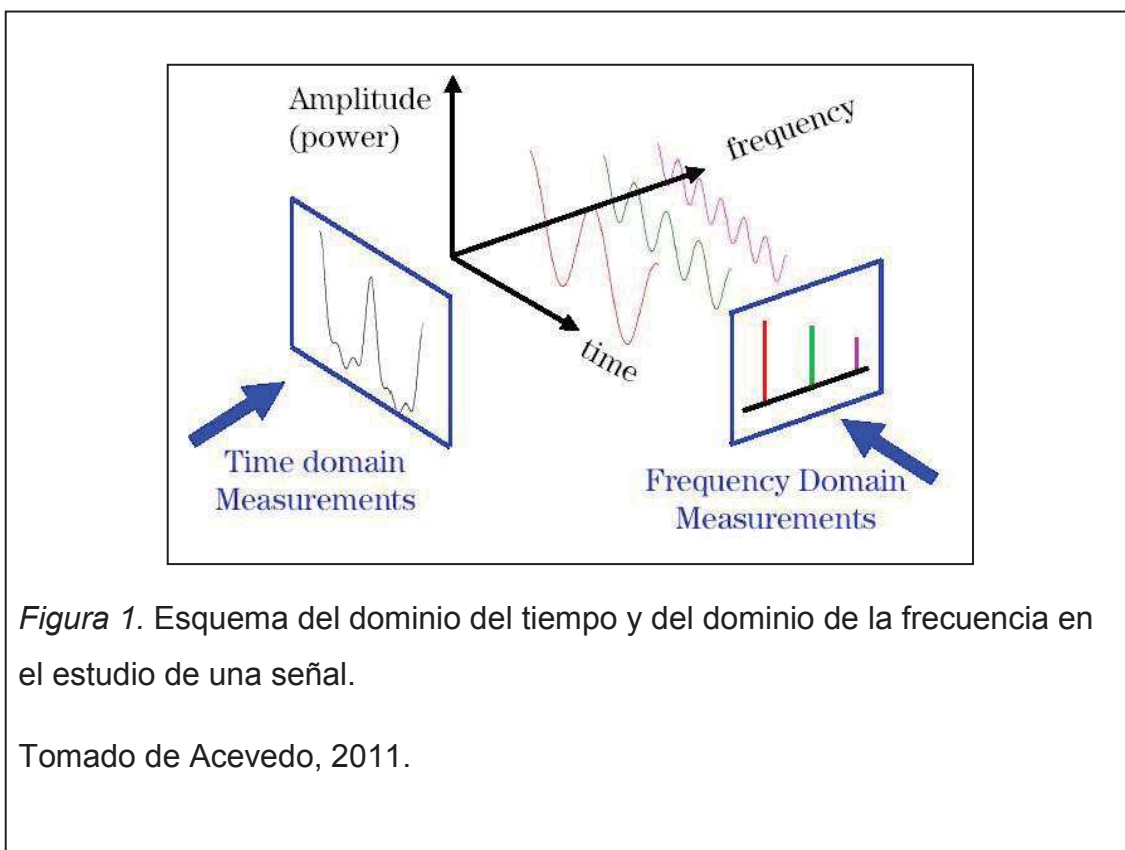
Para que se defina la existencia de sonido se necesita tres elementos esenciales: Fuente generadora de las vibraciones, medio elástico que permita la propagación de la onda y receptor.

1.1.2. Frecuencia

La frecuencia (**f**) es el parámetro que da la sensación de tonalidad, se define en el número de ciclos por segundo de una señal. La unidad de medida que lo representa es el Hertzio [Hz].

Si bien el rango de frecuencia audible para el ser humano comprende desde 20 Hz a 20.000 Hz, en acústica ambiental se considera que la mayor cantidad de energía sonora en el entorno se encuentra entre 100 y 8 kHz, siendo este rango el suficiente para ser considerado en esta rama de la acústica.

La distribución de amplitudes para cada frecuencia de determina espectro de frecuencia, una forma de analizar el espectro frecuencial se realiza mediante una presentación cartesiana (frecuencia vs. nivel) que muestra la distribución de la señal sonora en bandas normalizadas a lo largo del eje de frecuencias. Las bandas utilizadas comúnmente son de octava o tercios de octava. La presentación cartesiana que representa la distribución de la señal en función de la frecuencia vs. tiempo, se denomina multi-espectro.



1.1.3. Amplitud

Es la separación máxima de la onda desde el eje, para el ser humano la amplitud mínima en 2×10^{-5} Pa, a partir de la cual se puede percibir una onda a través del sistema auditivo.

1.1.4. Velocidad de propagación del sonido

Define con qué rapidez se aparta la onda de la fuente que la genera en el medio de propagación, la velocidad de propagación del sonido (c) para el caso de gases y en particular del aire depende de su peso molecular (0,0288 kg/mol) y de su temperatura, según la siguiente ecuación:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (\text{Ecuación 1})$$

Siendo:

γ = constante adiabática de los gases, que en el aire tiene el valor de 1,4

M = masa de un mol, que en el aire tiene un valor de 0,0288 [kg/mol]

R = constante de gas universal, 8,31 [J/mol·°K]

T = temperatura absoluta en °K.

Asumiendo temperaturas consideradas temperatura ambiente, para el aire se puede usar una aproximación de la fórmula anterior:

$$c = 332 + 0,608 * t \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (\text{Ecuación 2})$$

Siendo:

t = temperatura en °C

Para lo cual a una temperatura de 20°C, la velocidad del sonido es de 344 [m/s]. (Miyara, Control de ruido, 1999)

1.1.5. Periodo

Tiempo que demora una onda en completar un ciclo, es el inverso de la frecuencia. Su unidad se expresa en segundos.

$$T = \frac{1}{f} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Siendo:

T= Periodo

f = Frecuencia

1.1.6. Longitud de onda

Es la distancia en metros [m] que ocupa una onda sonora en el medio de propagación. Esta distancia es dependiente de la frecuencia y velocidad de propagación de sonido.

La longitud de onda (λ) se ve representada por la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{c}{f} = c \cdot T \quad (\text{Ecuación 4})$$

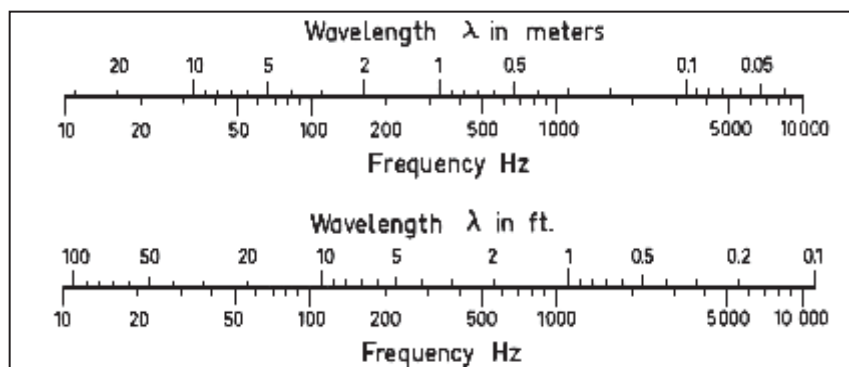


Figura 2. Relación de longitud de onda en metros [m] y en pies [ft].

Tomado de Institut Cerdá, 2010, pp. 131-132.

1.2. Medida de presión sonora

La sensibilidad auditiva no es lineal respecto a la presión acústica, más bien responde a una relación logarítmica, Por lo que para medir el nivel sonoro se utiliza una escala logarítmica.

El decibelio (El Belio representa una magnitud muy grande por lo que se utiliza su decima parte) es la unidad con la que se miden los niveles de presión sonora (**NPS**) cuando la presión de referencia (p_0) es de $20\mu\text{Pa}$.

1.2.1. Nivel de presión sonora

El Nivel de Presión Sonora (**NPS**) o SPL (por sus siglas en ingles Sound Level Pressure) representa las variaciones de la presión sonora sobre un punto, causadas como consecuencia de la propagación de la onda sonora. El NPS varía entre 0 dB denominado “umbral de audición” y 120 dB que se conoce como “umbral de dolor”.

$$\text{NPS} = 20 \cdot \log\left(\frac{P}{p_0}\right) \quad [\text{dB}] \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde: P es la presión acústica percibida en el punto de medida p_0 es la presión de referencia $20\mu\text{Pa}$

La figura a continuación indica el NPS característico de diferentes fuentes:

Tabla 1. Niveles de presión sonora de fuentes sonoras comunes.

Fuente	NPS en dB(A)
Sonido audible más débil	0
Susurro	20
Residencia silenciosa	30
Estéreo suave en residencia	40
Rango de voz	50-70
Cafetería	80
Martillo neumático	90
Ruido fuerte de gente	100
Motocicleta acelerando	100
Concierto de Rock	120
Turbina de avión (a 22.5 mts)	140

Tomado de Acoustical Society of America, 2006, p. 70.

1.2.2. Nivel de Intensidad Sonora

La intensidad sonora hace referencia a la cantidad y la trayectoria de un flujo de energía acústica que cruza una superficie y es percibida por el oído. La intensidad depende de la distancia entre la fuente y receptor, por lo que podemos decir que para un mismo nivel sonoro, a mayor distancia hacia el receptor, menos intensidad.

Para la propagación del sonido emitido por una fuente puntual en el aire y sin presencia de ningún otro tipo de atenuación, se tiene la siguiente expresión:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad [W/m^2] \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Donde:

W: es la potencia acústica de la fuente puntual.

r: distancia a la fuente sonora en la superficie.

Obtenida la intensidad (I), el Nivel de Intensidad Sonora estará representado por la expresión:

$$IL = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \text{ [dB]} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Donde:

I: intensidad sonora instantánea.

I_0 : Intensidad sonora de referencia 10^{-12} W/m^2 .

1.2.3. Nivel de Potencia Acústica

La potencia acústica es una propiedad física de la fuente, que determina la energía que puede emitir una fuente sonora independiente de su colocación de la distancia hacia el receptor.

Se define como:

$$L_w = 10 \cdot \log \frac{W}{W_0} \text{ [dB]} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Donde:

W: potencia acústica instantánea [w]

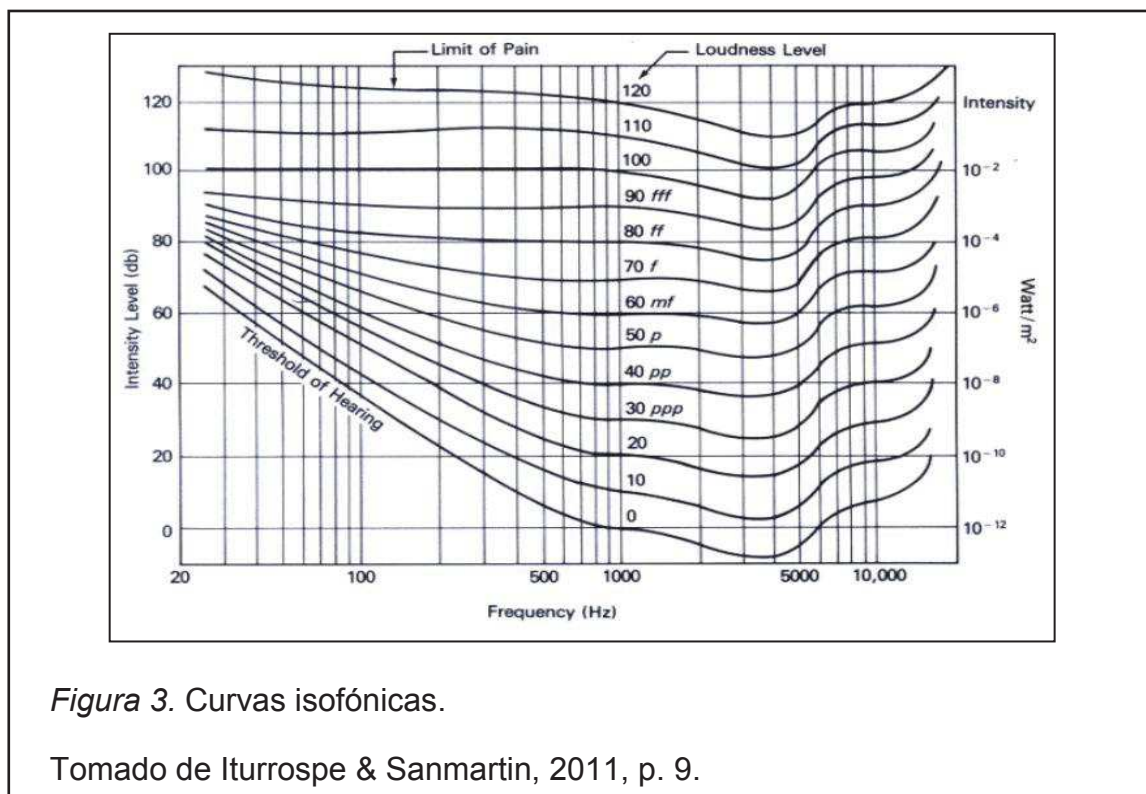
W_0 : potencia acústica de referencia 10^{-12} [w]

1.3. Curvas isofónicas

Las curvas de Fletcher – Munson o isofónicas (curvas de igual sonoridad), representan mediante la experimentación realizada por estos investigadores, la relación existente entre la intensidad con que el oído humano percibe un sonido en el rango de frecuencias audibles. Las vibraciones entran por el sistema auditivo siendo interpretadas por el cerebro dependiendo de su frecuencia, así mismo los sonidos son percibidos con mayor o menor nivel según su frecuencia.

Las curvas se crearon para representar cómo debería variar el nivel sonoro de tonos puros (sonidos simples) para que a diferentes frecuencias, se obtenga una igual sensación de sonoridad. Definiendo sonoridad como la intensidad, volumen o fuerza del sonido, misma que guarda estrecha relación con la amplitud.

La unidad usada para caracterizar el nivel de sonoridad se denomina fonio, unidad adimensional que trata de representar la percepción subjetiva del sonido.



En la gráfica se observa cómo el oído humano presenta mayor sensibilidad a frecuencias medias y medias-altas a diferencia con la respuesta a las frecuencias graves y altas. Además, se observa que mientras aumenta la intensidad sonora las curvas se vuelven más planas. Por lo que a medida que aumenta el nivel de presión sonora la dependencia de la frecuencia decae para el nivel de escucha.

1.4. Curvas de ponderación

Las curvas de ponderación se han elaborado de manera que se permita realizar mediciones acorde a nuestra percepción subjetiva, estas curvas presentan una apariencia similar a las curvas isofónicas pero invertidas.

Los tipos de ponderación existentes son:

- **Ponderación A:** Compensa las diferencias de sensibilidad del oído dependiendo de la frecuencia. Sigue aproximadamente la curva de 40 fonios.
- **Ponderación B:** niveles de sonoridad entre 55 y 80 fonios.
- **Ponderación C:** niveles de sonoridad de más de 80 fonios.
- **Ponderación D:** niveles de sonoridad de característico de aviones.

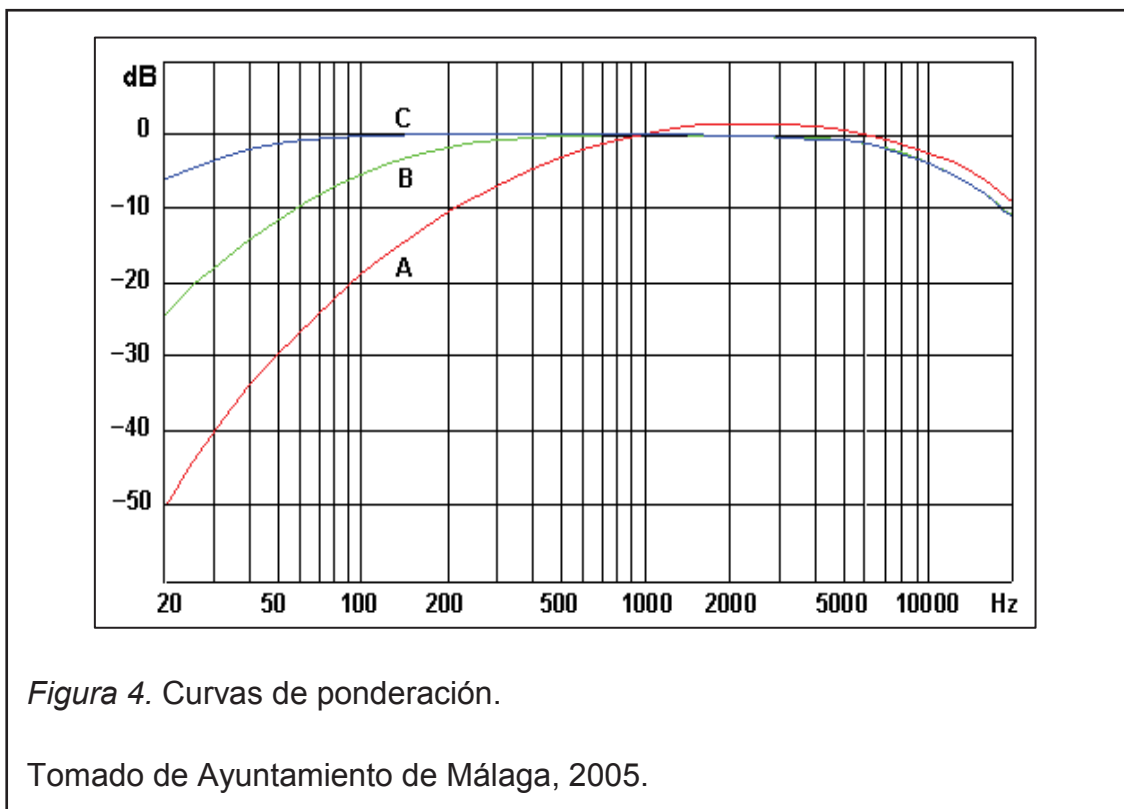


Figura 4. Curvas de ponderación.

Tomado de Ayuntamiento de Málaga, 2005.

1.5. Indicadores para evaluación de ruido ambiental

Para la caracterización de los niveles de ruido, el mismo necesita ser cuantificado con magnitudes que permitan determinar si dicho nivel influye de manera negativa en el confort acústico del receptor. Estas medidas se realizan en función del periodo de tiempo de medición y acorde a la posible incidencia del ruido en las actividades según el horario.

1.5.1. Nivel continuo equivalente (Leq)

Indicador que surgió de la necesidad de evaluar el grado de exposición de las personas al ruido. Se define como el nivel constante de ruido durante un periodo de medida, contiene la misma energía sonora que el nivel fluctuante medido.

La expresión que define este parámetro, considerando la ponderación A tenemos:

$$L_{eq} = 10 * \log \frac{1}{T} \int_0^T (10^{NPS/10}) dt \quad [dB] \quad (\text{Ecuación 9})$$

El L_{eq} se trata de la integración de energía acústica, siendo ésta su característica principal. El L_{eq} se puede obtener con valores lineales y ponderados, de esta manera es común que el valor del L_{eq} pase por el filtro de ponderación A.

1.5.2. Nivel Sonoro Equivalente DÍA - NOCHE (LDN)

El nivel día – noche toma como referencia la subdivisión de los periodos de medición día y noche. Este indicador de ruido se propone como método para la evaluación de la molestia sobre la población y se puede definir como el nivel registrado durante 24 horas, pero tomando en cuenta el nivel equivalente para cada periodo (Día y Noche).

Se calcula con la expresión:

$$L_{DN} = 10 * \log_{24} \left(15 * 10^{LD/10} + 9 * 10^{LN+10/10} \right) \text{ [dB(A)]} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

LD, es el Leq ponderado A, en el periodo día. (06:00 - 20:00)

LN, es el Leq ponderado A, en el periodo noche. (20:00 - 06:00)

1.5.3. Nivel máximo de presión sonora (Lmax)

Se encuentra definido como el nivel máximo de presión sonora lineal o en cualquier ponderación (A,B,C,D) medidos con respuesta temporal rápida (Fast) o lenta (Slow).

1.5.4. Nivel mínimo de presión sonora (Lmin)

Se encuentra definido como el nivel mínimo de presión sonora lineales o en cualquier ponderación (A,B,C,D) medidos con respuesta temporal rápida (Fast) o lenta (Slow).

1.5.5. Percentiles (L10, L50, L90)

El nivel percentil LP se define como el nivel sonoro superado en un porcentaje (P%) del tiempo total medido.

- L10: nivel que sólo ha sido superado el 10% del tiempo de medición. Indica picos de ruido.

- L90: nivel que ha superado el 90% del tiempo de medición. Indica valores bajos de ruido, conocidos como ruido de fondo.

- L50: nivel que ha superado el 50% del tiempo de medición. Indica valores medios de ruido.

1.5.6. Índice de ruido de tráfico

El TNI descrito así por sus siglas en inglés (Traffic Noise Index), es un indicador que tiene en cuenta los parámetros que generan molestias percibidas que tienen relación con los niveles de ruido.

Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\text{TNI} = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 \text{ [dB(A)]} \quad (\text{Ecuación 11})$$

La diferencia entre $L_{10} - L_{90}$ se denomina clima sonoro o clima de ruido.

1.5.7. Ruido

(Cuadrado, 2002) Para Cuadrado es tarea ardua ofrecer un concepto de ruido, quien expresa que “ruido ambiental ha sido definido como sonido exterior no deseado o nocivo generado por las actividades humanas, incluido el ruido emitido por los medios de transporte, por el tráfico rodado, ferroviario y aéreo, por emplazamiento de actividades industriales”, además a esta definición se incluye el ruido ocasionado por actividades de ocio o recreativas; ante la realidad es importante que las autoridades locales encuentren mecanismos que permita reducir los problemas ambientales suscitados especialmente en zonas urbanas.

1.5.8. Tipos de ruido

Existen varias clasificaciones del ruido, según la amplitud y su variación en el tiempo tenemos los siguientes tipos:

Ruido estable.- Tiene un nivel de presión sonora ponderado A que permanece esencialmente constante. Se considera que se cumple tal condición cuando la diferencia entre los valores máximos y mínimos es inferior a 5dB(A) en el tiempo.

Ruido fluctuante.- Se considera como tal por tener un nivel de presión acústica ponderado A que oscila sobre un rango de 5 dB(A) durante el tiempo de medición, cuyo ritmo es cíclico, pudiendo ser periódicos o aleatorios y su intensidad varía en el tiempo.

Ruidos de Impacto.- Están definidos como *“aquellos que tienen un crecimiento casi instantáneo, una frecuencia de repetición menor de 10 por segundo, y un decrecimiento exponencial”*. Ejemplos de ruidos de impacto tenemos a los causados por el choque de objetos en ambientes reverberantes. (Miyara, Control de ruido, 1999)

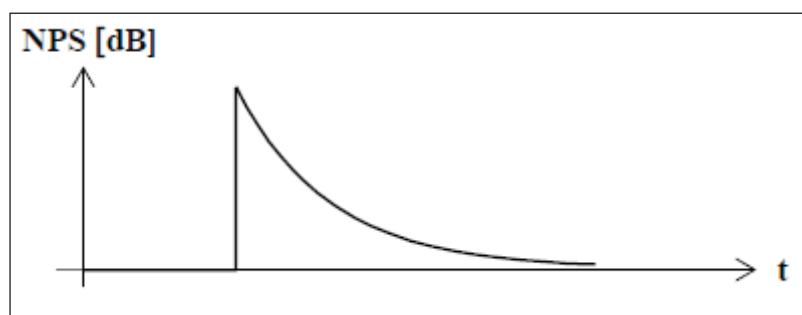
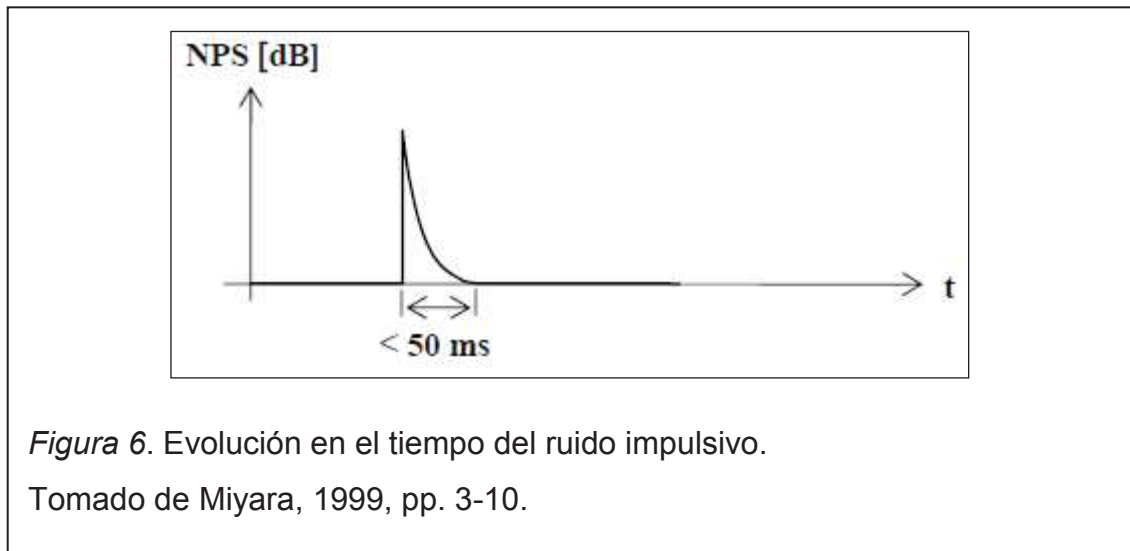


Figura 5. Evolución en el tiempo del ruido de impacto.

Tomado de Miyara, 1999, p. 3-10.

Ruidos impulsivos.- Se definen como *“aquellos que tienen un crecimiento casi instantáneo y una duración menor de 50 milisegundos”*. En el caso de los ruidos impulsivos no interesa la definición de nivel sonoro continuo equivalente, ya que la energía promedio que contienen puede ser muy pequeña. Su carácter nocivo radica en que está muy concentrado en el tiempo, a lo cual se agrega el hecho de que el oído no llega a advertir cuán intensos son en realidad, debido a que su propio tiempo de respuesta es mayor que la duración

de estos ruidos. Esto lleva a no reconocer la agresión como tal. Ejemplos de este tipo de ruido son los disparos de armas de fuego y explosiones en lugares abiertos. (Miyara, 1999).



1.5.9. Fuentes de ruido

Entre las principales fuentes del ruido que se presentan en la ciudad y que son fácilmente detectadas tenemos el tránsito vehicular (vehículos livianos, pesados y motos), aéreo, obras de construcción, actividades industriales, locales de esparcimiento, entre otras.

Es alarmante el grado de contaminación ambiental en las grandes ciudades causadas por el ruido que cada día se incrementa, razón por la cual es importante estudiar las fuentes sonoras y sus características físicas para reducir el impacto con el propósito de proteger a las personas de esta imperfección de las modernas sociedades que generan problemas de salud, psicológicos, sociales y económicos.

Tráfico rodado.- Aunque los automóviles actualmente tienen sistemas silenciosos, en los últimos tiempos ha incrementado el ruido, sobrepasando los niveles permitidos entre mufflers (sistema que reduce el nivel de ruido del

escape de vehículos), producidos por el motor y la fricción causada por el contacto del vehículo con el suelo y el aire.

Otro de los factores que influye en la producción de ruido es la cantidad de autos con los mufflers dañados, incrementando el nivel de ruido en áreas determinada por la afluencia vehicular.

Los medios de transporte colectivo, representan una de las fuentes generadoras de contaminación acústica. Existen grandes redes de autobuses para el desplazamiento de las personas que demandan del servicio de transporte público, pero generalmente el poco cuidado de los vehículos y deficiente control de las autoridades permite la circulación de unidades ruidosas que aportan un gran nivel de ruido al ambiente sonoro de las ciudades propias de países en desarrollo.

Tráfico aéreo.- La navegación aérea ha provocado fuertes problemas de ruido en la comunidad, debido a que la producción del ruido se relaciona con la velocidad del sonido en el aire, en este caso el ruido se manifiesta debido a las maniobras de aterrizaje y despegue de las aeronaves mismas que pueden alcanzar hasta 140 dB (*Figura 3*). Debido a estos fenómenos que se presentan, las autoridades nacionales y locales optan por ubicar los aeropuertos en zonas distantes a la ciudad y poblaciones.

Construcciones.- Las construcciones de edificios y obras públicas son actividades que causan emisiones altas de ruido, provocados por maquinarias propias de la edificación como grúas, mezcladoras, soldadoras, herramientas percutoras, explosivos, herramientas neumáticas, motores de combustión interna, martillos y otras herramientas, incrementando el nivel de presión sonora sobre el sitio de incidencia.

Industria.- El ruido industrial se considera desde dos puntos de vista: el ruido dentro de la planta industrial y el ruido que la planta emite hacia el exterior de la

misma. El ruido interno tiene importancia sobre la preservación de la salud auditiva y las condiciones de confort requeridas para determinadas actividades laborales. Las condiciones requeridas para la salud auditiva equivalen en casi todos los países a un L_{eq} diario no mayor de 85 dBA durante 8 horas de exposición. Las condiciones para el confort dependen de la actividad a realizar, pero generalmente están muy por debajo. El ruido externo incide en la comunidad vecina a la planta. Se rige en general por límites de tipo ambiental, que se ubican en un nivel intermedio entre los niveles anteriores. (Miyara, 2004).

Locales de esparcimiento.- Al considerarse una fuente fija, es posible medir y analizar el ruido interno y externo emitido por estas actividades. El ruido dentro del emplazamiento puede ser potencialmente perjudicial para el personal que labora dentro y también para los asistentes, quienes no están resguardados por la legislación laboral.

La OMS establece como criterio que sólo se puede asistir a conciertos a 100 dBA durante 4 horas 4 veces al año, cuando en una discoteca es habitual tener 105 dBA durante 4 horas y cerca de 50 veces por año, suponiendo una asistencia por semana. (Miyara, 2004)

El ruido de la actividad que acontece fuera del local, en la vía pública o en las cercanías, incluye la estancia de personas esperando al ingreso, conversando, reposando en las viviendas cercanas, etc. a lo que se agrega un aumento en la cantidad de vehículos circulando por el sector, dejando o recogiendo gente, estacionados con el motor encendido, entre otros. Los ruidos externos son de responsabilidad distribuida entre las personas y el propietario quien debe crear condiciones para evitar la acumulación de personas afuera.

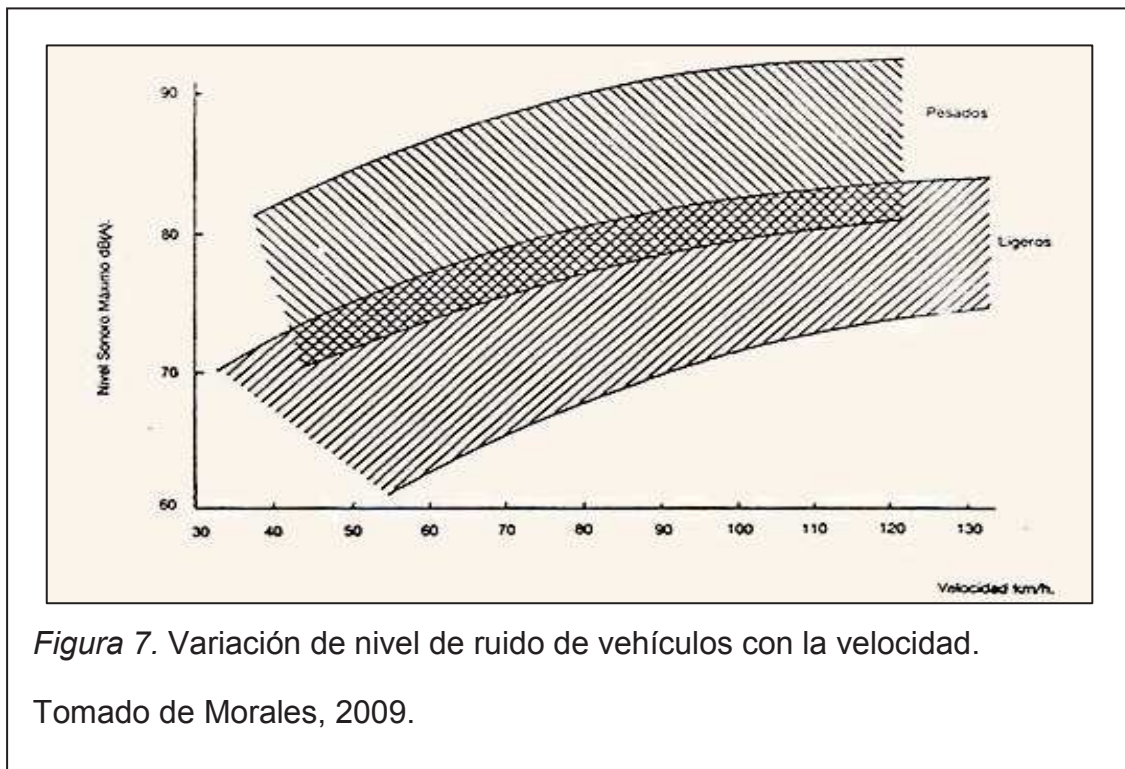
1.5.10. Ruido de Tráfico

El ruido de tráfico ocasionado por una vía de circulación, es un encadenamiento de sumas simultáneas de niveles acústicos variables que son generados por automóviles de diferentes tipos: livianos y pesados, que constituyen el tráfico rodado; la diversificación del ruido con el tiempo representa la particularidad principal del ruido ambiente.

Si la intensidad de tráfico en una calle o vía es baja, la distancia media entre vehículos es grande y el paso de ellos es prácticamente independiente del resto, con notables ciclos de tiempo, durante los cuales el ruido se mantiene constante en el nivel de fondo. Mientras la intensidad del tráfico va en aumento, la distancia promedio entre los vehículos se verá reducida y el ruido de fondo se irá perdiendo, de esta manera a medida que la afluencia vehicular es elevada, los niveles de ruido se mantendrán casi constantes.

Debido al carácter aleatorio del tráfico vehicular y a los factores que intervienen para la emisión y propagación del mismo, se torna complicado caracterizarlo in-situ y en tiempo real, por lo que una opción para determinar el ruido de tráfico es mediante modelos predictivos que asignan un nivel de presión sonora referencial para cada tipo de vehículo.

La figura a continuación presenta los niveles de ruido generados por vehículos livianos y pesados:



Se observa claramente la gran diferencia de nivel de ruido a una misma velocidad entre vehículos livianos y pesados, estas variaciones se deben entre otras principalmente al tipo de vehículo (que determina el tamaño y fuerza del motor), fabricante del vehículo, condiciones de mantenimiento, aceleración, cambios de marchas, etc.

1.5.10.1. Consideraciones a tomar para determinar los niveles de ruido del tráfico rodado

El tráfico vehicular es considerado la principal fuente emisora de ruido hacia el ambiente, debido a que estos se encuentran circulando en las calles de las ciudades considerados espacios abiertos. Los vehículos cuando no se encuentran apagados siempre están generando ruido debido a 3 factores influyentes:

El motor.- Este elemento junto con el funcionamiento del restos de unidades mecánicas que permiten el movimiento del vehículo, generan una proporción

considerable de ruido. Las marcas fabricantes a medida que innovan en el mundo automovilístico, se preocupan de incorporar medidas y mecanismos más silenciosos.

Rozamiento.- El roce entre el pavimento y neumáticos de los vehículos, produce niveles considerables de ruido a medida que la velocidad va en aumento. El nivel de presión sonora generado por rozamiento depende también del tipo de calzada, así con el paso de vehículos la calzada cubierta de materia asfáltica puede producir niveles de 77 dB, calzada de hormigón rígido emite aproximadamente 81 dB y calzadas adoquinadas pueden irradiar hasta más de 82 dB. Existen capas de rodadura de tipo semi-rígida construidas con criterios de reducción de niveles acústicos que pueden emitir valores mínimos de hasta 72 dB.

Aerodinámica.- Este factor depende directamente de la velocidad de circulación del vehículo, así pues a elevada velocidad, el aire roza con la estructura metálica del automóvil lo que produce ruido ocasionado por la fricción entre estos 2 elementos.

En el siguiente gráfico se pueden observar los niveles de ruido de vehículos en buen estado y el nivel que aporta el mismo tipo de vehículos en mal estado:

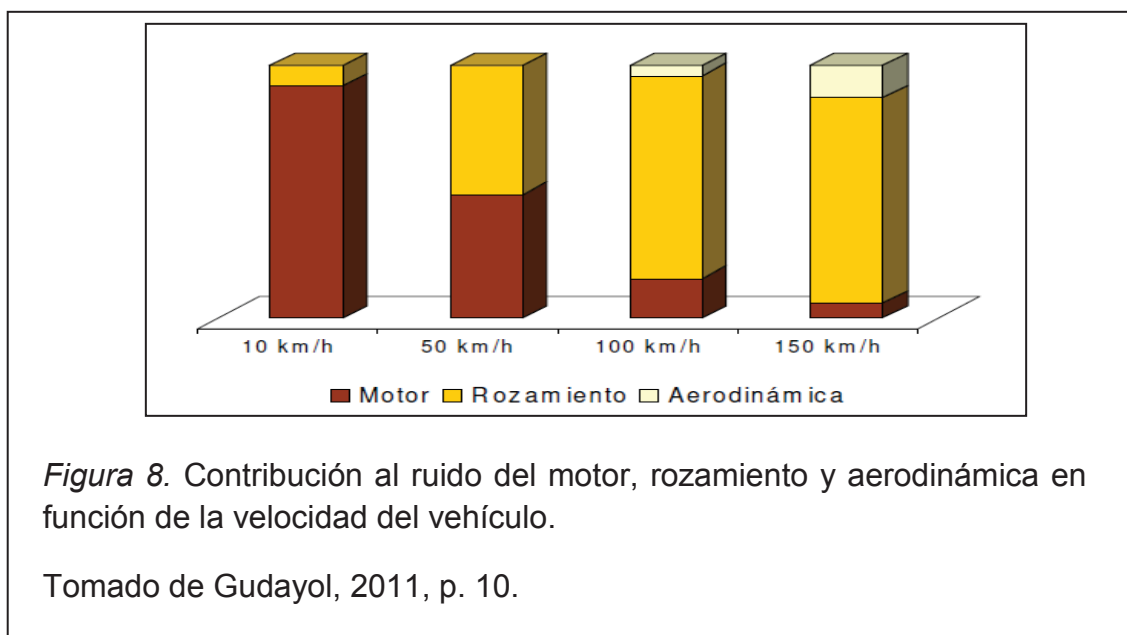
Tabla 2. Niveles de ruido de vehículos según su estado de conservación.

Tipo de vehículo	Presión sonora dB(A)	
	en buen estado	en mal estado
Motos y motocicletas	<75	85 - 95
Automóviles	<78	80 - 92
Furgonetas, camiones pequeños	<80	90 - 95
Vehículos pesados	<85	95 - 100

Tomado de Ayuntamiento de Málaga, 2005, p. 248.

Se observa que los niveles de ruido en los vehículos aumentan en 10 dB(A) hasta 20 dB(A) cuando estos se encuentran en malas condiciones, lo que se puede considerar para tomar medidas de acción inmediatas para mitigación de ruido ocasionado por el tráfico vehicular.

En el gráfico a continuación se observa la contribución a los niveles de ruido de los tres factores antes mencionados:



Las velocidades en las que se circula dentro del casco urbano fluctúan entre los 10 y 50 km/h, observando el gráfico en estas velocidad el ruido de motor es dominante. Mientras la velocidad aumenta el ruido por rozamiento es el encargado de aportar el mayor nivel de ruido debido a la acción de roce entre neumático y la calzada. Por último entre los 100 y 150 km/h, la aerodinámica empieza a tomar partida en la emisión de ruido, a partir de esta velocidad mientras la misma vaya en aumento, aumentará también el ruido por aerodinámica.

1.5.11. Normativas nacionales e internacionales para control de emisiones acústicas

Existen varias normativas fundamentadas en la base legal y son de cumplimiento para países sobre los cuales rigen. En Ecuador el Libro VI. De la Calidad Ambiental Anexo 5 del TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiente), es la norma vigente que determina lineamientos y límites de niveles sonoros máximos permisibles para fuentes fijas y móviles.

La norma española, llamada Real Decreto 1367/2007, tiene por objeto establecer las normas necesarias para el desarrollo y ejecución de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones. Norma que permite realizar evaluaciones más completas en lo referente a ruido ambiental.

1.5.11.1. Niveles máximos de ruido permisibles

Libro VI. De la Calidad Ambiental Anexo 5 del TULSMA

Según el Libro VI. De la Calidad Ambiental Anexo 5 del TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiente), los niveles de presión sonora equivalente, Leq , formulados en decibeles, en ponderación con escala A, que se alcancen de la emisión de una fuente fija emisora de ruido, no podrán pasar los valores establecidos en la siguiente figura.

Tabla 3. Niveles máximos de ruido permisibles según uso del suelo.

TIPO DE ZONA SEGÚN USO	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPS eq [dB(A)]	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona hospitalaria y educativa	45	35
Zona Residencial	50	40
Zona Residencial mixta	55	45
Zona Comercial	60	50
Zona Comercial mixta	65	55
Zona Industrial	70	65

Tomado de Ministerio del Ambiente, 2002, p. 6.

El cuadro que antecedente son valores definidos para fuentes fijas según el uso del suelo, no establece los niveles máximos de ruido permisibles para tráfico rodado, sin embargo permite tener una idea de los niveles de presión sonora que puede soportar cada zona para el desempeño de las actividades según el horario.

Para las emisiones causadas por fuentes móviles como los vehículos de circulación terrestre, la norma nacional presenta los siguientes límites:

Tabla 4. Niveles de presión sonora máximos para vehículos automotores.

CATEGORÍA DE VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN	NPS MAXIMO (dBA)
Motocicletas:	De hasta 200 centímetros cúbicos.	80
	Entre 200 y 500 c. c.	85
	Mayores a 500 c. c.	86
Vehículos:	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor.	80
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, y peso no mayor a 3,5 toneladas.	81
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, y peso mayor a 3,5 toneladas.	82
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, peso mayor a 3,5 toneladas, y potencia de motor mayor a 200 HP.	85
Vehículos de Carga:	Peso máximo hasta 3,5 toneladas	81
	Peso máximo de 3,5 toneladas hasta 12,0 toneladas	86
	Peso máximo mayor a 12,0 toneladas	88

Tomado de Ministerio del Ambiente, 2002, p. 16.

Esta norma indica que la entidad Ambiental de Control en conjunto con la autoridad policial competente, establecerá los procedimientos necesarios para el control y verificación de los niveles determinados en la tabla anterior. Además considera esos niveles medidos con el vehículo estacionado, lo cual se debe realizar siguiendo varias consideraciones técnicas establecidas en el documento de la norma. No considera procedimientos para tomar acciones sobre los vehículos en movimiento.

Real Decreto 1367/2007

La norma española, Real Decreto 1367/2007 en la gráfica a continuación hace referencia a índices de ruido total, mismo que toman en cuenta todos los focos de emisión de ruido (fuentes fijas y móviles):

Tabla 5. RD 1367/2007 – Anexo II, Tabla A: Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes.

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		L_d	L_e	L_n
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	60	60	50
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	65	65	55
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c).	70	70	65
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	73	73	63
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	75	75	65
f	Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen. (1)	Sin determinar	Sin determinar	Sin determinar

Nota: Se determinan tres índices de ruido, que representan los niveles promedio anuales en los periodos día L_d (7 a 19 horas), tarde L_e (19 a 23 horas) y noche L_n (23 a 7 horas). Los objetivos de calidad aplicables a las áreas acústicas están referenciados a una altura de 4 m. Tomado de Iturrospe & Sanmartin, 2011, p. 28.

1.6. Impacto acústico

Para determinar el impacto acústico se debe realizar una evaluación del alcance de cualquier actividad desde el punto de vista de la generación de ruido; hoy en día este estudio se está convirtiendo en un requerimiento obligatorio para obtener permisos de funcionamiento ubicando las actividades acorde al uso del suelo. Los estudios de impacto acústico pueden utilizarse para conocer el nivel actual de ruido, para predecir el impacto futuro o como paso previo para el análisis de medidas de mitigación de ruido.

Se trata de estimar las emisiones acústicas, que permita analizar los niveles de ruido que se producen en el entorno las fuentes emisoras, para determinar dónde se producen superaciones de los niveles de ruido límite establecido por las normas nacionales e internacionales.

La actual norma nacional no considera medidas hacia mitigar el impacto acústico ocasionado por el tráfico vehicular visto como un problema global dentro de las ciudades y centros urbanos. Resulta irrisorio que en pleno siglo XXI en Ecuador no se adopten medidas para la prevención y control de las emisiones acústicas que se generan a diario en las calles, ya que representa uno de los mayores problemas de contaminación ambiental que presentan las ciudades hoy en día en todo el mundo.

El Real Decreto 1367/2007 en su Anexo II, Tabla A; presenta valores establecidos en función de horarios que caracterizan los niveles máximos según diferentes tipos de área acústica. Estos niveles de presión sonora equivalentes, consideran todas las fuentes emisoras de ruido lo cual a diferencia de la norma ecuatoriana permite realizar una evaluación sobre el ruido que cualquier fuente este aportando a la zona de estudio.

1.6.1. Reducción del impacto acústico

Uno de los retos propuestos en las ciudades grandes es reducir el impacto acústico que ocasiona molestias a la ciudadanía, provocado especialmente por el tránsito rodado. Si bien es cierto existe tecnología para minimizar los niveles sonoros de los vehículos y otro tipo de maquinarias utilizadas en procesos de industrialización, aún no existe una cultura y sensibilización de la ciudadanía, respecto a la protección del medio ambiente y los efectos que alcanzan a la salud.

Otra de las razones por la cual no se adoptan medidas para la reducción del impacto acústico se debe a que la inversión necesaria para la mitigación es "...muy costosa en relación a los vehículos convencionales y además en algunas de las tecnologías las empresas requieren capacitar y especializar al personal, incrementando su inversión. Ante esta realidad es pertinente promover subvenciones o ventajas fiscales que las empresas incorporen en sus parques de camiones y a su operativa los últimos avances en tecnología de reducción de ruidos". (Institut Cerdá, 2010).

1.7. Mediciones Acústicas

Con el fin de obtener información cuantificable acerca del impacto acústico en el medio, existen dispositivos capaces de medir los niveles de presión sonora in-situ.

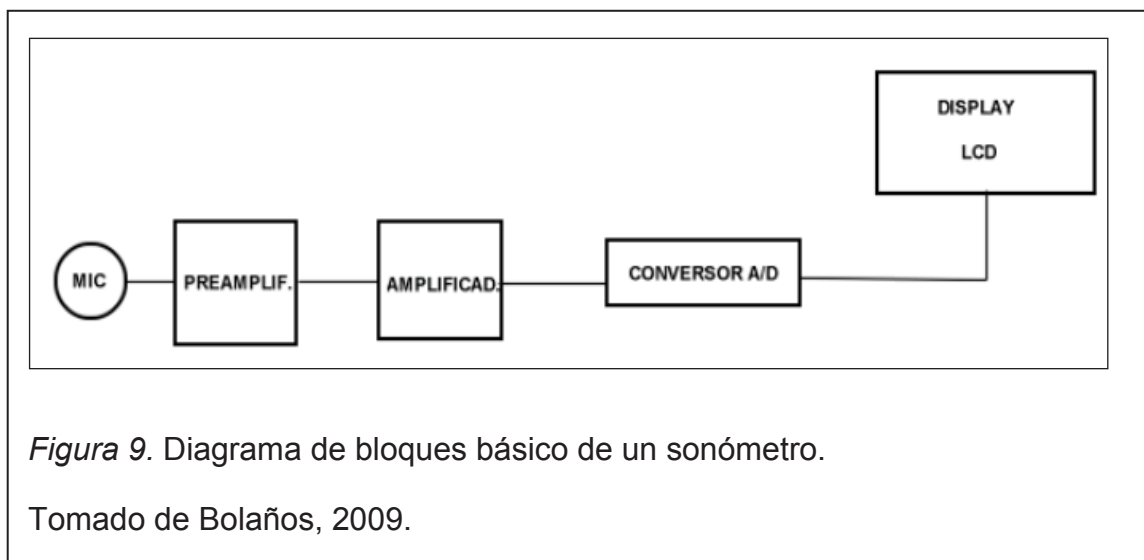
1.7.1. Instrumentos de mediciones Acústicas

El instrumento más común para medir los niveles de presión sonora es el sonómetro, dispositivo que se utiliza para medir el nivel de presión sonora en un lugar y momento dado.

1.7.1.1. Sonómetro

Los sonómetros de naturaleza portable son de fácil operación, sin embargo la variedad de estos dispositivos permite que se diferencien por la exactitud de respuesta del micrófono así como por la cantidad de parámetros que describe en las mediciones, siendo el más representativo el L_{eq} considerado como parámetro básico de información en acústica ambiental. Los sonómetros que integran los valores de nivel de presión sonora instantánea son denominados integradores y entregan el valor L_{eq} .

El sonómetro, consta de un micrófono, un preamplificador, un amplificador, una sección de procesamiento de señal y una unidad de lectura gráfica. El micrófono como transductor, convierte la señal acústica en una señal eléctrica equivalente, la cual es procesada a través de amplificadores que adecuan la sensibilidad de la señal dentro del sistema de medición. El micrófono al ser el sensor del sistema es importante su sensibilidad lo que permite obtener una respuesta más precisa (Bolaños, 2009).



Clasificación de los sonómetros

Según su precisión se clasifican en:

Clase 0.- Sonómetro de máxima precisión, utilizado en laboratorios. Sirve como referencia para calibraciones.

Clase 1.- Sonómetro de alta precisión para mediciones en laboratorio. Son los equipos requeridos por las normas ISO. Incertidumbre aproximada $\pm 0,7$ dB.

Clase 2.- Sonómetro de precisión media para mediciones in-situ en tareas de supervisión y monitoreos. Incertidumbre aproximada ± 1 dB.

Clase 3.- Sonómetro para realizar mediciones muy aproximadas.

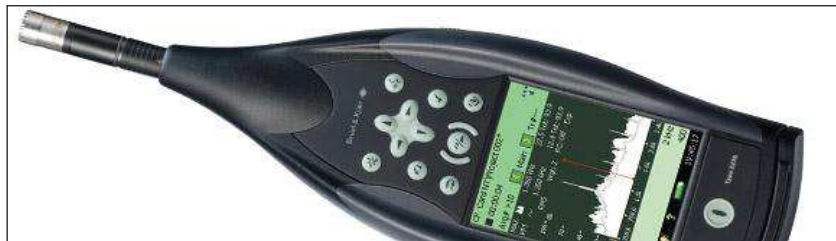


Figura 10. Sonómetro Clase I - Brüel & Kjær 2270.

Tomado de: Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S – Madrid, s.f.



Figura 11. Sonómetro Clase II - Cesva SC102.

Tomado de CESVA INSTRUMENTS SLU, s.f.

La norma IEC 61672, excluye los dispositivos tipo 0 y tipo 3, estableciendo solo 2 criterios de precisión tipo 1 y tipo 2. La diferencia entre estos dispositivos radica en el tipo de micrófono y preamplificador. Estas diferencias son fundamentadas en un margen de tolerancia en frecuencia, según lo indica la Figura 9, en el rango de frecuencias de 100 Hz a 5K Hz la diferencia entre estos sonómetros es de 0,5 dB siendo más preciso el de tipo 1, sin embargo en las frecuencias bajas y sobretodo en frecuencias altas la diferencia es mucho mayor a favor del sonómetro de tipo 1.

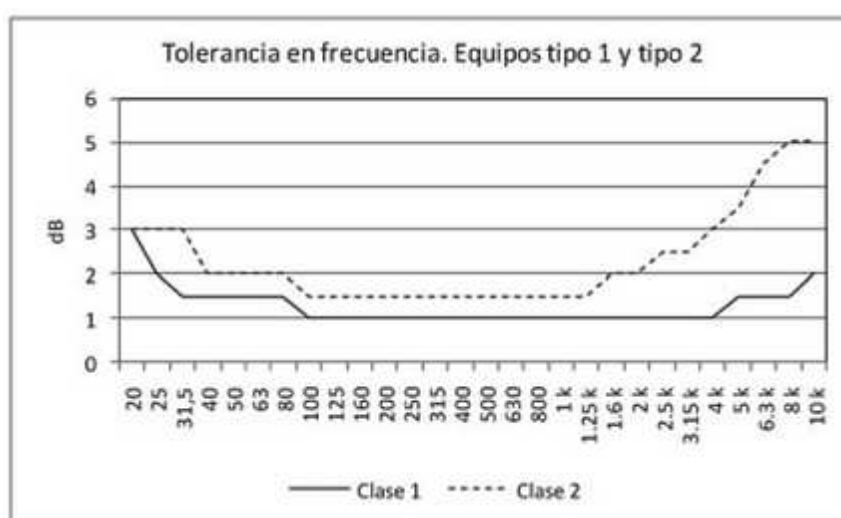


Figura 12. Margen de tolerancia en frecuencia para equipos de tipo 1 y de tipo 2.

Tomado de Bartí, 2010, p. 103.

1.8. Modelación acústica

La modelación acústica es realizada mediante software de simulación acústica, estos programas son herramientas que a través de variables de entrada, constantes determinadas previamente y por normas técnicas, fórmulas de aplicación, etc., crean modelos predictivos de la calidad acústica del sitio de estudio así como permiten evaluar el impacto acústico ocasionado por fuentes sonoras de distinto contexto.

El software de modelación pueden realizar predicciones de manera general sobre emisiones acústicas ocasionadas por:

Industria.- Varios software del mercado, pueden describir el fenómeno acústico ocasionado por la emisión ruido originado por actividades industriales, ruido que usualmente genera un impacto ambiental considerable sobre el sector de influencia directa y muchas veces sobre sitios más apartados.

Tráfico rodado.- Para el modelamiento del ruido de tráfico vehicular, existen varios “software” que incluyen módulos con modelos para predecir el comportamiento resultante de la interacción vehicular y los diferentes factores que influyen directa e indirectamente en emisión, transmisión y recepción del sonido en distintas ubicaciones dentro del Geofile destinado al estudio. Programas como SoundPLAN, CadnaA, Predictor – LimA, DRONE, Minerva y otros son los representantes más conocidos en el mercado.

Además de lo indicado anteriormente, existen software para modelamiento acústico de:

- Tráfico ferroviario
- Tráfico aéreo
- Transmisión de ruido aéreo
- Diseño y análisis de sistemas de acústica arquitectónica.
- Respuesta del aislamiento acústico de superficies: paredes, ventanas, suelos y techos.
- Respuesta de la absorción acústica de sistemas en porosos con caras perforadas.
- Otros.

1.8.1. Modelamiento acústico con SoundPLAN 6.3

Para efectos de la evaluación de impacto acústico ocasionado por el tráfico rodado, se considerará los parámetros necesarios para realización de un mapa de ruido de tráfico con el software SoundPLAN. La exactitud del modelo es resultado de la precisión y consideraciones que se tomen en campo para el levantamiento de información, teniendo presente que el software considera variables y constantes que pueden no precisamente ser compatibles con las condiciones y elementos sobre los cuales se realizaron las labores de campo y se realiza la circulación del tráfico vehicular. Debido a las variaciones que se pueden presentar entre el mapa generado por el software y la realidad, siempre resulta necesario validarlo con mediciones acústicas tomadas en el sitio objeto de estudio.

1.8.1.1. Principios de procesamiento de SoundPLAN

SoundPLAN es un software que fundamenta sus modelos en estándares de procesamiento computacional que garantizan una precisión aproximada de 0,2 dB dentro de los procedimientos que dictan las normas sobre las cuales se desea generar el mapa sonoro.

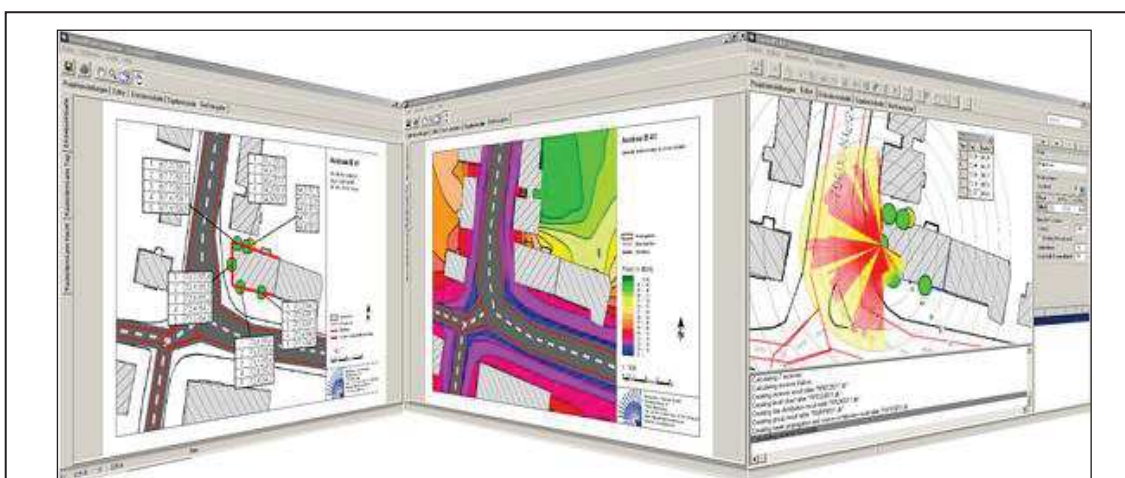


Figura 13. Utilidades de SounPLAN Essential 3.0.

Tomado de SoundPLAN, 2014.

1.8.1.2. Generación de mapas sonoros

Los mapas sonoros o de ruido modelados, simulan la incidencia acústica ocasionada por fuentes que emiten cierto nivel de presión sonora sobre puntos específicos por lo que el software realiza cálculos en cada punto. Cada fuente se calcula de manera independiente y los resultados que se obtienen de todas las fuentes se suman con la siguiente fórmula que expresa el denominado nivel de inmisión (Guarderas, 2011):

$$L_{i, \text{sum}} = 10 * \text{Log} \sum \left(10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad [\text{dB(A)}] \quad (\text{Ecuación 12})$$

El aporte de fuentes independientes se puede describir con la expresión:

$$L_i = L_w - C_1 - C_2 \dots C_n \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

L, nivel de inmisión hacia el receptor

L_w , nivel de potencia de la fuente

C, coeficientes que determinan aspectos diferenciados de propagación

De esta manera, el nivel de presión sonora hacia el receptor se deriva de la potencia del sonido y la propagación del mismo.

Fuente de emisión

SoundPLAN calcula el ruido generado por varias fuentes y considerando el lugar donde se encuentra, así tenemos: calles, carreteras, ferrocarriles, aeropuertos, puntos de generación, líneas y fuentes dentro y fuera de las diferentes construcciones.

Para el software, cada fuente tiene su propia caracterización de los datos de emisiones y otras descripciones. Para el ruido de tráfico, SoundPLAN contiene

un modelo de cálculo de la potencia acústica cuyos valores resultantes derivan de los datos de ingreso que requiere la norma que seleccione el usuario.

El ruido de tráfico se considera como fuente lineal y se define con al menos dos coordenadas. Si existen más de dos puntos se encadenan y SoundPLAN asume que hay una poli línea continua. Un área requiere de mínimo tres coordenadas, si el área se define como un solo plano, el software acepta cualquier número de coordenadas para el área de la fuente.

Una limitación para línea y área es que la condición entre estas con la fuente debe ser uniforme. La existencia de cambios en el volumen del tráfico o velocidad determina también cambios en el ruido de emisión y entonces se definirá la fuente nuevamente.

Coefficientes de propagación (C)

Esparcimiento.- Se define al esparcimiento como el fenómeno de dispersión del sonido ocasionado por las reflexiones o refracciones de las ondas acústicas en el medio de incidencia, para el cual influyen los factores ambientales, geográficos y constructivos del sector.

Para caracterizar este fenómeno en el modelo, se aplica la ley del cuadrado inverso que para ondas acústicas indica que al duplicarse la distancia disminuye el nivel en 6 [dB] para fuentes puntuales, y para fuentes lineales al duplicarse la distancia se disminuyen 3 [dB].

Absorción en el aire.- Refiere a la propagación de las ondas en el aire con pérdida de energía, la pérdida depende de las condiciones ambientales del medio (temperatura, presión del aire y humedad relativa) y de la frecuencia.

SoundPLAN tiene la opción de seleccionar las normas que incluyen métodos para identificar la absorción de la onda en el aire, si la norma no permite

determinar este parámetro, el software usará condiciones establecidas por defecto.

Apantallamiento por barreras.- Ocurre en el momento que una onda sonora es difractada alrededor de un borde, este fenómeno se puede dar alrededor de bordes verticales u horizontales. La estimación para el apantallamiento que se encuentra establecida por defecto en SoundPLAN considera que la onda se difracta sobre un obstáculo.

Reflexión.- La onda sonora se ve reflejada por los objetos que se encuentren a su paso, las reflexiones dependen del ángulo que se forma entre la onda directa y la superficie impactada.

Directividad.- La directividad define el viaje que realiza la onda sonora (directa y reflejada) a través medio de propagación y del suelo, de esta manera la onda puede ser absorbida, interferida y reflejada, y puede ocurrir que se encuentren la onda.

1.8.1.3. Propiedades de los tipos de cálculo de SoundPLAN 6.3

Existen dos tipos de cálculos que se realizaron para el diseño del mapa sonoro, los cuales se describirán de manera básica a continuación:

Grid noise map.- Permite la visualización del nivel sonoro en altura de la vía. Genera una malla de receptores sobre el área a ser modelada (definida en la base de datos Geo), la altura de la malla se determina en el menú de propiedades del cálculo. Del mismo modo que se puede elegir la separación entre cada receptor de la malla.

El software genera una malla cuadrículada con ancho determinado de manera previa, en el centro de la cual se ubicará un receptor. Al calcular, SoundPLAN fragmenta el área de cálculo en conjuntos de 1x1, 3x3, 5x5 o 9x9 receptores, puntos que se calculan de forma independiente. Para cada conjunto, se calcula

el nivel sonoro que llega a los receptores del centro y de las esquinas, el valor del centro es interpolado a partir de los valores en las esquinas. Para que los valores sean aceptados, deben cumplir con los criterios establecidos en el parámetro "Diferencia" introducido en las propiedades de cálculo. Para el proyecto se seleccionó la grilla 5x5, se determinó esto buscando un equilibrio entre precisión y tiempo de generación del mapa.

Debido a que el nivel de sonoro incidente en cada cuadrado corresponderá al nivel calculado en cada receptor situado en su centro, el ancho de las rejillas de la malla definirá la precisión en los niveles entregados por el mapa. Mientras el ancho sea menor, el resultado obtenido será más preciso, sin embargo el tiempo de cálculo aumentará.

Mapa de ruido en fachada.- Representa el cálculo en los receptores, donde esos puntos se generan por el programa a partir de las fachadas que se han seleccionado en la base de datos Geo. Las características de estos receptores (altura, uso en la zona, otros.) son definidas mientras se realiza el levantamiento planimétrico en la base de datos. Particularmente, en los puntos donde se realizarán las mediciones para validación, se hace el cálculo para 5 receptores situados en estos puntos.

1.8.2. Desarrollo del modelamiento acústico y mapas de ruido

El modelamiento acústico se desarrolló utilizando el programa SoundPLAN 6.3, se levantó seleccionando la norma RLS-90, que según el estudio realizado en la ciudad de Quito que evalúa los diferentes modelos de predicción que entrega el software dice que: para la evaluación realizada en ese estudio como para proyectos de distinta índole, se utiliza una sola normativa, con lo cual se puede considerar, que la normativa RLS90 es la normativa más adaptable a la ciudad de Quito, ya que presenta índices de ruido como LN y LD, los cuales son muy importantes para la evaluación de proyectos, que en otras normativas estudiadas no se los menciona como es en ASJ1998, NORDIC1996 y

STATENS PLANVERK. (Guarderas, 2011). A partir de esta premisa se adoptó la norma antes mencionada para su aplicación en la ciudad de Machala.

1.8.2.1. Norma RLS-90 (Richtlinien für den Lärmschutz an Straben)

Modelo predictivo de ruido por tráfico rodado de aplicación común en Europa, utiliza el método de fuente puntual con propagación, atenuación de terreno, proyección y reflexión. La normativa consiste en dos modelos separados. El modelo de la fuente, el cual utiliza la información de tráfico y el nivel de ruido de referencia (L25) o nivel medio de emisión (LME para SoundPLAN) a 25 metros de distancia de la carretera y a 4 metros por encima del suelo y el modelo de propagación utiliza los niveles de ruido de referencia o nivel medio de emisión de día y de noche como información de entrada y los niveles ruido en el receptor para el día y la noche como el resultado. (García & Vásquez Restrepo, 2013). La norma RLS-90 toma las siguientes consideraciones para información de ingreso:

Tabla 6. Descripción de información de ingreso y resultados de la norma RLS-90.

RLS-90	
DESCRIPTORES ACÚSTICOS	
Leq24	
LD	
LN	
LDEN	
CONSIDERACIONES VIALES	
TIPO DE SUPERFICIE	
REFLEXIONES	
GRADIENTE	
CONSIDERACIONES VEHICULARES	
CANTIDAD	VEHÍCULOS - DÍA (ADT)
	VEHÍCULOS – HORA
TIPO DE VEHÍCULO	
VELOCIDAD	POR HORARIO
	POR TIPO
CONSIDERACIONES DE TRÁFICO	
FLUJO VEHÍCULAR	

Para calcular el nivel de emisión de la fuente es necesario ingresar datos sobre las siguientes variables:

Consideraciones viales.- La normativa RLS-90 permite elegir el tipo de superficie, reflexiones y gradiente de la vía. Estas consideraciones permiten que SoundPLAN realice correcciones en el cálculo por la influencia de los aspectos antes mencionados.

El material constructivo de las calles y avenidas pueden ser de diferentes tipos (asfalto, concreto, adoquín, etc.), cada material tiene propiedades diferentes

respecto a la absorción, reflexión y difracción de la onda sonora, debido a esto la normativa ofrece estas correcciones.

Tabla 7. Adiciones y subtracciones por superficie de carretera (dB).

Tipo de superficie	Máxima velocidad permitida en km/hora			
	30 km/h	40 km/h	>50 km/h	>60 km/h
Asfalto no ranurado	0	0	0	0
Concreto o asfalto ranurado	1	1,5	2	2
Superficie pedregosa con textura lisa	2	2,5	3	3
Superficie pedregosa con estructura rugosa	3	4,5	6	6
Hormigón con tratamiento escoba metal	1	1	1	1
Asfalto hormigón sin grietas	0	0	0	-2
Asfalto poroso con más de 15% de poros tipo 0/11	0	0	0	-4
Asfalto poroso con más de 15% de poros tipo 0/8	0	0	0	-5

Tomado de Alvarez, 2014.

El gradiente de la vía determina la fuerza que el motor del vehículo debe realizar para avanzar, mientras el motor del vehículo se esfuerza más, el nivel de ruido emitido aumenta. En el sitio de estudio, este factor no influyó debido a que es un sector llano con una altura menor a 4 [m.s.n.m].

Tipo de vehículos.- La normativa utilizada requiere el ingreso de 2 tipos de vehículos los cuales se clasifican en livianos y pesados, para esto se procedió a caracterizar a los autos, jeeps y camionetas como vehículos livianos; en cambio a buses y camiones como vehículos pesados.

En el caso particular de las motos las cuales no disponen de clasificación dentro de ninguna normativa del software, se adoptó el criterio del estudio efectuado en la ciudad de Quito mismo que realiza una comparación entre las distintas normativas del SoundPLAN, el cual indica que: según estudios realizados, en los que figuran mediciones de ruido generado por motocicletas y

camiones ligeros, los resultados obtenidos son muy parecidos por lo que se puede asumir y añadir este tipo de datos para el modelamiento en el software SoundPLAN 6.3. (Guarderas, 2011)

Cantidad de vehículos.- La normativa RLS-90 permite el ingreso de conteos vehiculares en porcentaje diario y por horario de evaluación, además es posible ingresar el número de vehículos por horas.

Velocidad de circulación.- La normativa se tiene la opción de ingresar la velocidad por tipo de vehículos o por horario de evaluación.

Flujo vehicular.- Se puede definir si el flujo vehicular es constante o fluido y si el mismo es acelerado o desacelerado.

2. Capítulo II: Metodología

2.1. Determinación de la zona de estudio

La zona de estudio se localiza en la provincia de El Oro, cantón Machala, específicamente en el casco urbano, tomando como referencia las calles:

Pichincha hasta la Sucre entre las calles Junín y Av. Vela. Estas calles encierran la zona regenerada del centro urbano, se las considera las más transitadas debido a la actividad comercial, generando elevado movimiento por la presencia de instituciones públicas, bancos, locales comerciales, mercado, otros.



Figura 14. Zona seleccionada para estudio.

a. Calles: **1.** Pichincha, **2.** Bolívar, **3.** Rocafuerte, **4.** 25 de Junio, **5.** Sucre, **6.** Junín, **7.** Páez, **8.** Juan Montalvo **9.** 9 de Mayo, **10.** Guayas, **11.** Ayacucho, **12.** Santa Rosa, **13.** Vela.

Adaptado de Google Maps, s.f.

2.2. Recopilación de la información primaria y secundaria existente

La información primaria que fue recopilada se obtuvo mediante salidas de campo de monitoreo al comportamiento del tráfico vehicular y observación a la arquitectura y actividades que se realizan en el sector; de esta manera se obtuvo los datos que el software requiere para lograr una mayor aproximación en la predicción que entregará.

Para la recopilación de la información primaria a más de la intervención del investigador, se presentó el apoyo de la Policía Municipal del cantón Machala, lo que permitió agilizar el proceso y realizar conteo en tiempo real en los diferentes puntos de investigación.

La información secundaria se la obtuvo mediante la investigación bibliográfica, para el desarrollo del marco teórico, entre aquella información se ha tomado referencias estadísticas de datos y gráficos realizadas en otros países, para efecto de hacer relaciones; como también se observó la “NORMA TÉCNICA QUE ESTABLECE LOS LÍMITES PERMISIBLES DE RUIDO AMBIENTE PARA FUENTES FIJAS Y FUENTES MÓVILES” (Ministerio del Ambiente, 2002), debido a que ésta es la normativa que rige actualmente en el país. Es importante recabar el hecho de que se trabaja a partir de un estudio realizado en la ciudad de Quito: “EVALUACIÓN DE MODELOS DE PREDICCIÓN DE RUIDO DE TRÁFICO APLICADOS A LA CIUDAD DE QUITO MEDIANTE EL SOFTWARE SOUNDPLAN 6.3”, (Guarderas, 2011) de donde se toman demostraciones para realizar el estudio actual. Para la evaluación de los mapas sonoros se analizó el documento “GUIAS PARA EL RUIDO URBANO” publicado por la OMS.

2.3. Levantamiento de la información que no esté disponible

Para el levantamiento de la información no disponible se procedió a realizar investigaciones bibliográficas y de campo, denominando a estas acciones

como técnicas de investigación que consiste en: técnica documental y técnica de campo. La documental permite la recopilación de información para enunciar las teorías que sustentan el estudio de los fenómenos y procesos. Incluye el uso de instrumentos definidos según la fuente documental a que hacen referencia; mientras que la técnica de campo dio paso a la observación en contacto directo con el objeto de estudio, y el acopio de información recabada permitiendo confrontar la teoría con la práctica en la búsqueda de la verdad objetiva.

2.4. Selección de los puntos para el muestreo y medición de los niveles sonoros

La selección de los puntos para obtener el muestreo se ubicó en el casco urbano del cantón Machala, tomando como puntos referentes las calles de mayor circulación con una amplitud al norte de una manzana, al sur 2 manzanas, al este 2 manzanas y al oeste 3 manzanas, tomando como eje el parque central, dando un total de 26 manzanas que corresponden el 100% de la muestra con un perímetro de 2200m (2.2km). La extensión del trabajo da lugar a alcanzar un mapa de ruido dinámico en relación al tránsito vehicular.

Las mediciones se realizaron en dos puntos uno ubicado en la Calle Sucre y Guayas (Centro Hotel) y el siguiente punto en la Av. Pichincha entre 9 de Mayo y Guayas (Consultorio Médico Dr. Patricio Zamora).

Los puntos para las mediciones se escogieron según disponibilidad de ubicación del sonómetro y afluencia vehicular, así en la calle Sucre circulan vehículos livianos, pesados y motos; de igual manera la Av. Pichincha se ve influenciada por gran afluencia de vehículos pesados.

2.4.1. Obtención de información

La información para el levantamiento del modelo 3D se llevó a cabo a través de la utilización de la herramienta Google Earth, la cual permitió identificar de manera visual el área sobre la cual se realizó el estudio, de esta manera junto con salidas de campo se obtuvo toda la información necesaria para levantar el modelo.

2.4.1.1. Creación del Geofile

En SoundPLAN, la creación del “Geofile” se realiza mediante el módulo Geo-Database en el cuál se generan y manejan todos los datos geométricos y descriptivos de la zona a evaluarse, estos datos son introducidos en el software en forma de “Geos”. Los archivos pueden combinarse para crear bloques unitarios que permiten organizar el cálculo en ‘Situaciones’.

Para el levantamiento del modelo, se obtuvieron los Geos referentes a vías, amanzanamiento, curvas de nivel y edificaciones.

Curvas de nivel, vías y amanzanamiento

Se obtuvo los archivos de curvas de nivel, vías y amanzanamiento de la ciudad de Machala en formato “SHAPE”, lo que permitió basar desde el inicio todo el procedimiento con archivos creados por profesionales en sistemas de información geográfica.

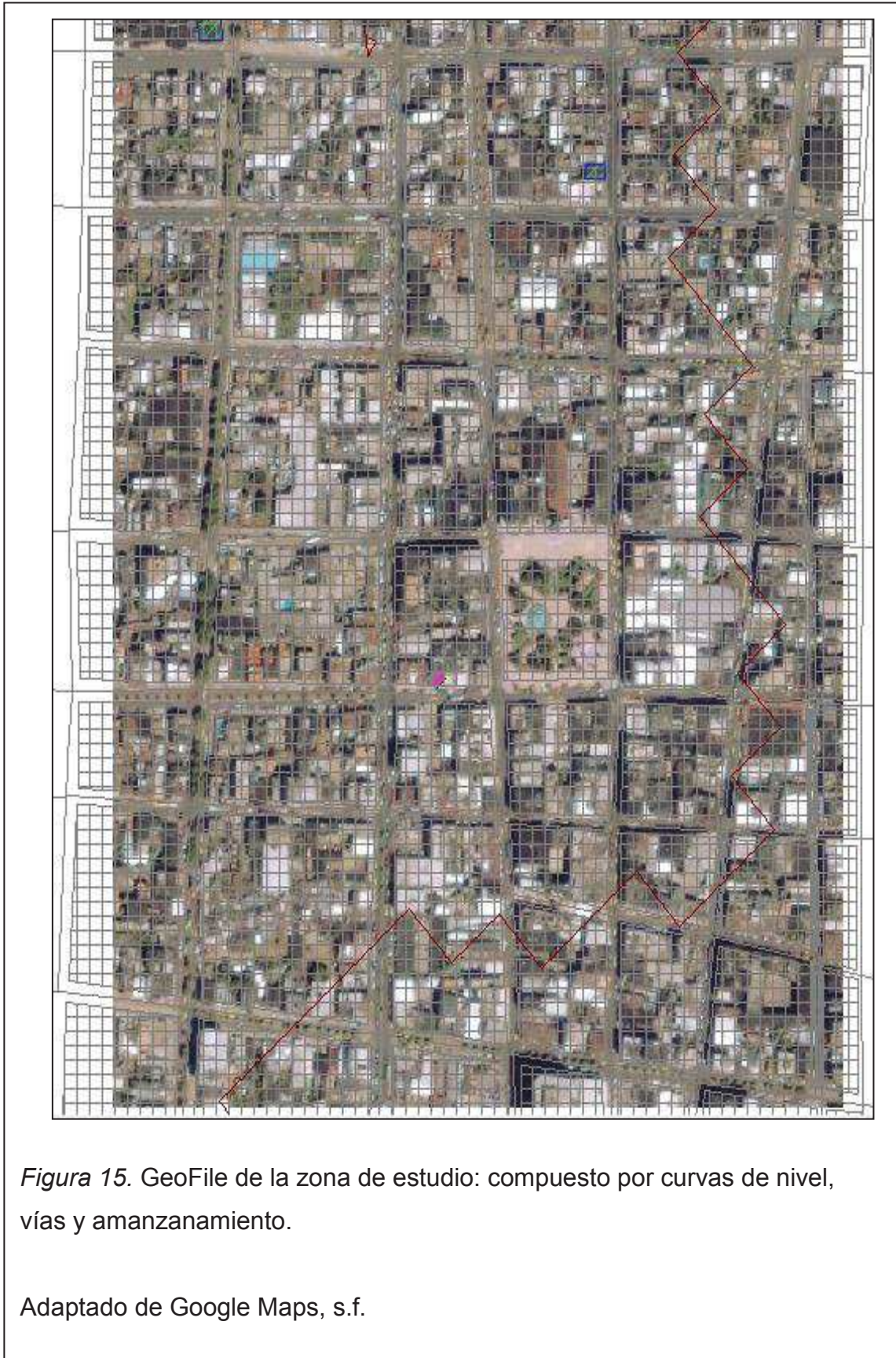


Figura 15. GeoFile de la zona de estudio: compuesto por curvas de nivel, vías y amanzanamiento.

Adaptado de Google Maps, s.f.

Edificios del sector

Se realizaron varias salidas en campo para recopilar información referente a altura, largo y ancho de las edificaciones en el sector, paso siguiente gracias a la utilización de la herramienta Google Earth, se realizó el levantamiento planimétrico de cada una de las edificaciones en el sector evaluado. Una vez concluido el levantamiento se obtuvo el modelo en 3D y 2D.

Barreras acústicas en el sector

Los cerramientos de toda edificación representa una barrera acústica por ende, cada material con el que se haya construido responderá de forma diferente respecto a la atenuación del ruido. Las alturas de los cerramientos se ingresaron en el modelo mientras se diseñaba cada edificio en el modelo.

En el sector se encontraron varios lotes vacíos con cerramiento, para los cuales se realizó el respectivo diseño de cerramiento como barrera simple.

Vías

Para el estudio se establecieron 13 vías, de las cuales 4 son de ingreso y salida de la ciudad en sentido Este-Oeste y Oeste-Este y 7 vías de afluencia menor que cruzan a las vías principales en sentido Norte-Sur y viceversa.

El diseño de las vías en el modelo requiere del ingreso de sus características, de esta manera se ingresó:

Longitud de la vía.- Este parámetro se tomó del archivo "Shape" de la ciudad de Machala.

Ancho de la vía.- Con el fin de obtener valores exactos, el ancho de las vías se midió en campo con el apoyo de funcionarios municipales.

Tipo de superficie.- En este proyecto se utilizó como superficie de las vías un asfalto suave y adoquín suave, el material en lo posterior evidencia una diferencia en el valor de emisión de la fuente (vía).

Gradiente de la vía.- Para este se tomó como valor el establecido en el modelo digital de terreno que se generó a partir de las curvas de nivel.

Sentido de la vía.- El sentido de las vías se identificó mediante salida de campo, cabe resaltar que todas las vías objeto de estudio son en un solo sentido.

Número de carriles.- El software según la normativa que se vaya a utilizar ofrece números de carriles predeterminados, sin embargo hay la opción de modelar la vía de acuerdo a la situación.

Semáforos.- Para las vías principales de acceso y salida de la ciudad se contabilizaron 26 semáforos, en las vías secundarias se observaron 21 semáforos. La semaforización se incorporó en el modelo digital del terreno acorde a la ubicación geográfica de cada uno.

Afluencia vehicular

Los vehículos representan las fuentes de ruido que circulan por la vía, debido a esto los datos que sean ingresados referentes a número de vehículos y velocidad de circulación de los mismos tienen influencia directa en los niveles de ruido que entregue el modelo cuando haya finalizado la etapa de cálculo y procesamiento de información.

Conteo de vehículos.- Esta información se obtuvo en campo, la Dirección de Gestión Ambiental del GAD Municipal de Machala, solicitó que miembros del cuerpo policial municipal presten su contingente durante sus labores, colaborando en el conteo vehicular en los turnos horarios de cada día. De esta

forma, los conteos se realizaron por 15 minutos en cada hora durante una semana.

Los conteos se realizaron de forma manual con fichas de conteo que clasifican los tipos de vehículos como Livianos, pesados y motos. A continuación se detallan los puntos seleccionados para tomar las muestras:

Tabla 8. Puntos seleccionados de conteo vehicular.

PUNTO	CALLE DE CONTEO	CALLE INTERSECCIÓN	REFERENCIA
1	Sucre	Guayas	Centro Hotel
2	25 de Junio	9 de mayo	Municipalidad
3	Rocafuerte	9 de Mayo	Bco. Machala
4	Bolívar	Juan Montalvo	Correos del Ecuador
5	Pichincha	9 de Mayo	Clínica Aguilar
6	Junín	Rocafuerte	Coop. Transportes Santa Rosa
7	Páez	25 de Junio	Escuela Isabel la Católica
8	Juan Montalvo	Rocafuerte	Joyería Arichábala
9	9 de Mayo	Rocafuerte	Bco. Machala
10	Guayas	Bolívar	Bco. Pacífico
11	Ayacucho	Bolívar	Hospital IESS
12	Santa Rosa	25 de Junio	Parque de la Paz
13	Vela	25 de Junio	CNT

En los 13 puntos se realizaron conteos en tiempo real, a partir de los datos obtenidos en los 15 minutos de conteo por hora, se hizo una estimación para el número de vehículos que circulan en cada hora. Para cada calle se realizó el conteo en horario diurno que indica la normativa desde las 06:00 a 22:00, para el horario nocturno desde las 22:00 a 6:00 en algunos casos donde sucedieron imprevistos y otros en los que por seguridad no se pudo realizar el conteo, se interpoló los datos con conteos realizados en otros días pero a las mismas horas.

Para ingresar los datos en el software, se calculó el promedio para cada horario (día – noche) y día completo de los valores promedio semanal de conteos para cada tipo de vehículo. Acorde a lo que requiere la normativa, se ingresó los promedios semanales de autos y camiones; el número de motocicletas se incorporó en los conteos de camiones. (Ver Anexo 2).

Garajes

SounPLAN 6.3 permite que se ingresen datos referentes a garajes de vehículos, los cuales representan fuentes de ruido que se intensifican en el sitio donde han sido implantados. Así, para el ingreso de datos de este parámetro, mediante indagación a los propietarios de los establecimientos se obtuvo la información de número de vehículos que ingresan a diario. (Ver anexo 3).

Receptores

Dentro del área del proyecto se ubicaron dos receptores, los mismos que se encontraban ubicados en la fachada de cada edificación, en la Calle Sucre Punto denominado CentroHotel, el receptor se ubicó en el interior de una habitación del hotel. En el caso del receptor ubicado en la Av. Pichincha Punto Consultorio Médico Dr. Patricio Zamora, se ubicó en el balcón de la primera planta alta.

2.4.2. Mediciones in-situ

Según (Miyara, 2004), “las mediciones pueden estar orientadas a la caracterización de una fuente o a la caracterización de un ambiente. En el primer caso se mide la emisión de ruido y en el segundo la inmisión. Cuando la fuente incide directamente en su entorno (un vehículo que transita por la vía pública) se suele medir la emisión de la fuente y compararla con límites exigidos o recomendados. Cuando la acción de la fuente está mediatizada por multitud de factores (efectos de propagación, obstáculos, aislamiento, absorción acústica) se mide, en cambio, la inmisión, que también se comparará

con los máximos establecidos. Es el caso del ruido al vecindario. El ruido de inmisión se asocia con un punto receptor, que puede ser un punto al aire libre, un ambiente interior o el oído de un oyente”.

Con el fin de obtener mediciones que permitan identificar la situación actual del sector, se utilizó 2 sonómetros PCE-322A propiedad del GAD Municipal de Machala con los cuales se consiguieron datos numéricos sobre el ruido incidente en los puntos de medición.

2.4.2.1. Sonómetro data logger PCE-322A

Sonómetro de Tipo 2 utilizado para actividades de monitoreo y control de ruido en los sectores industrial, de seguridad y salud ocupacional, medioambiental y entornos sensibles a la contaminación acústica. Este dispositivo se denomina data logger debido a que posee una memoria interna en el que almacena datos de medición. Este sonómetro no es un sonómetro integrado por lo que no entrega el valor del L_{eq} .



Figura 16. Sonómetro PCE-322A.

Tomado de pce-instruments. s.f.

2.4.2.2. Calibrador acústico PCE-SC41

Permite la calibración in-situ del sonómetro PCE-322A, los niveles de referencia son 94 dB @ 1k Hz y 114 dB @ 1k Hz. La calibración con este dispositivo es para realizarse en el campo, no reemplaza a la calibración en laboratorio.



Figura 17. Calibrador acústico PCE-SC41.

Tomado de pce-instruments. s.f.

2.4.3. Metodología de medición

La medición en cada punto se llevó a cabo considerando la percepción de las personas que desarrollan sus actividades en los lugares seleccionados.

En la medición realizada, en el Receptor 1, el sonómetro se ubicó a 4.2 metros de altura sobre el suelo y para el Receptor 2, se ubicó a 4.5 metros. Ambos puntos fueron en la primera planta alta de cada edificio. Se configuró el sonómetro en ponderación (A), respuesta lenta (slow) y con frecuencia de muestreo de 1 min. La duración total de medición fue de una semana y ambas mediciones se llevaron a cabo en tiempo real, mientras se realizaba el levantamiento de información vehicular.

3. Capítulo III. Resultados y Análisis

3.1. Resultados de las mediciones

El sonómetro PCE-322A entrega el NPS incidente para lo cual se procedió a calcular el Leq de cada medición diaria mediante una tabla de Excel, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 9. Receptor 1 - Sucre y Guayas (CentroHotel)

Leq	Leq 24h	Leq Día	Leq Noche
3 junio	67,55387	69,09086	59,336783
4 junio	68,27893	69,95094	56,11689
5 junio	68,38907	69,89372	60,741751
6 junio	69,70702	71,38999	56,979394
7 junio	68,89146	70,38426	61,43473
1 junio	67,20948	68,85067	56,324858
2 junio	68,2833	69,90358	58,087634
Leq SEMANA	68,4	69,99	58,89

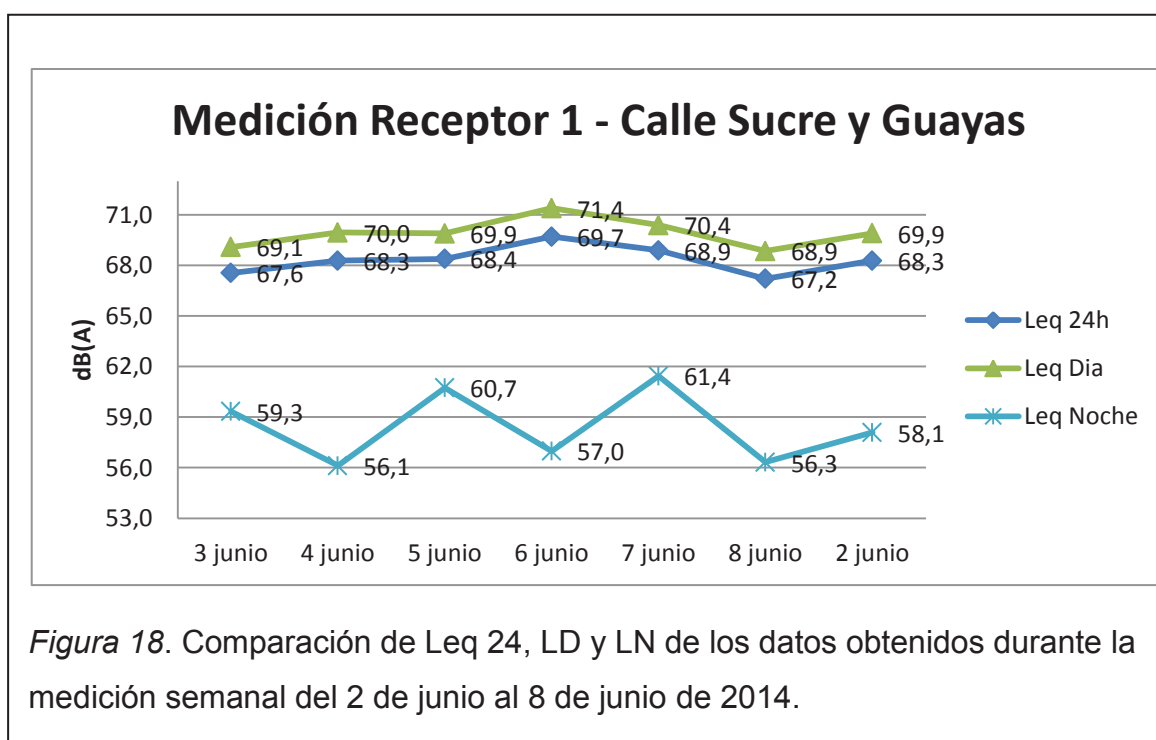
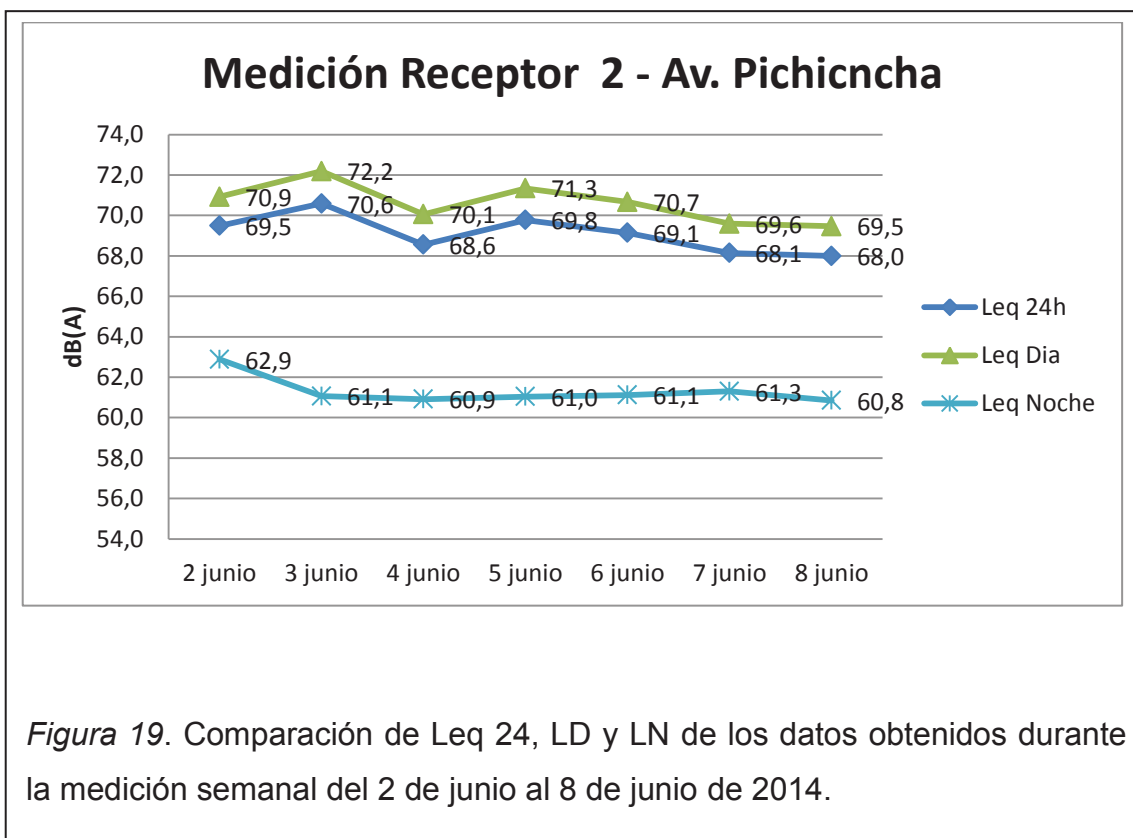


Tabla 10. Receptor 2 – Pichincha entre 9 de Mayo y Guayas (Consultorio Médico)

Leq	Leq 24h	Leq Día	Leq Noche
2 junio	69,48538	70,91785	62,880202
3 junio	70,59028	72,18677	61,061284
4 junio	68,55162	70,05599	60,909013
5 junio	69,7768	71,33953	61,042046
6 junio	69,1385	70,66465	61,12129
7 junio	68,13983	69,59047	61,296523
8 junio	67,99066	69,46267	60,847817
Leq SEMANA	68,69	70,21	60,77



3.1.1. Modelo de la zona de estudio

El resultado obtenido a través del procesamiento de información para el levantamiento del Geofile, se presentan a continuación en las gráficas 2D y 3D del modelo digital levantado con la información obtenida:

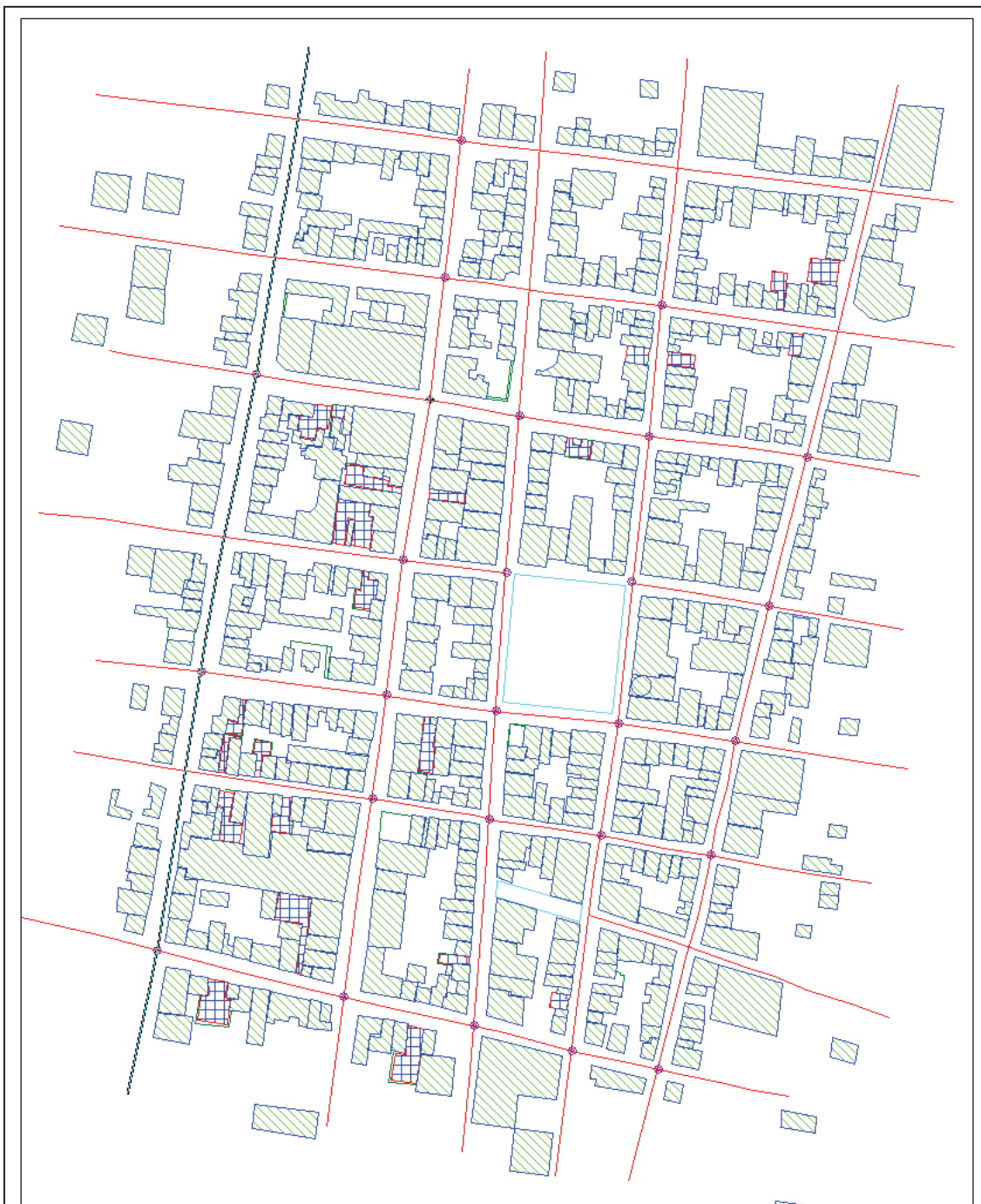


Figura 20. Modelo 2D de la zona de estudio.

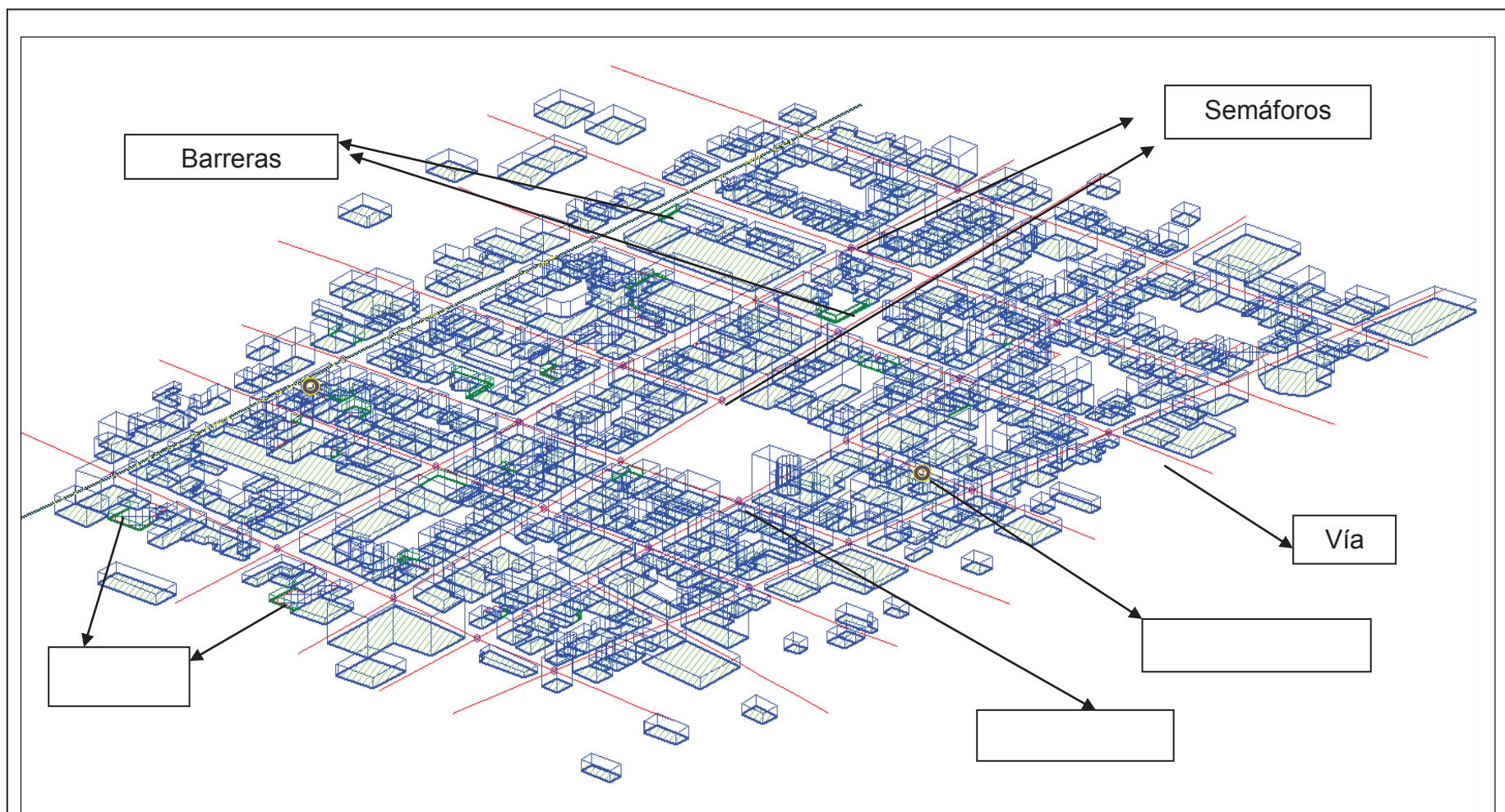


Figura 21. Modelo 3D de la zona de estudio.

3.2. Resultados entregados por el software

SounPLAN 6.3 presenta los resultados calculados a través de tablas que se pueden descargar una vez generados los mapas, para la zona de estudio se obtuvo los resultados resumidos en tablas, gráficas y mapas sonoros.

3.2.1. Cálculos realizados por SoundPLAN 6.3

Como se mencionó anteriormente, para el proyecto se seleccionaron 13 vías que serán representadas como fuentes y dos receptores destinados para la validación de los cálculos con las mediciones in-situ, procedimiento realizado de acuerdo a lo establecido en la normativa RLS-90.

Como se puede observar en la tabla y gráficos siguientes, los datos promedio obtenidos de la semana en evaluación:

Tabla 11. Calculo de emisiones de las vías.

Machala Emissionsberechnung Straße - SEMANA MACHALA												
Road	LmE day dB(A)	LmE night dB(A)	PT %	PN %	Lm25 day dB(A)	Lm25 night dB(A)	v car km/h	v truck km/h	Dv day dB(A)	Dv night dB(A)	D surf dB(A)	Gradient %
SUCRE	61,1	52,5	19,0	16,7	67,3	58,8	30,0	30,0	-6,2	-6,3	0,0	0,0
25 DE JUNIO	64,4	58,3	4,8	4,8	68,0	62,0	40,0	40,0	-6,1	-6,1	2,5	0,0
ROCAFUERTE	66,2	57,3	9,1	8,3	69,2	60,4	40,0	40,0	-5,5	-5,5	2,5	0,0
BOLIVAR	65,0	56,2	17,8	11,1	69,8	61,4	40,0	40,0	-4,8	-5,2	0,0	0,0
PICHINCHA	65,2	57,3	16,4	14,3	70,0	62,1	45,0	40,0	-4,8	-4,9	0,0	0,0
AV. JUNIN	63,7	53,9	6,8	11,1	66,9	56,6	40,0	40,0	-5,8	-5,2	2,5	0,0
PAEZ	58,0	51,6	25,0	5,7	61,2	56,2	35,0	35,0	-5,2	-6,6	2,0	0,0
JUAN MONTALVO	59,7	53,0	6,3	9,1	64,1	57,1	35,0	35,0	-6,5	-6,1	2,0	0,0
AV. 9 DE MAYO	59,9	57,4	5,4	6,4	64,6	61,9	35,0	35,0	-6,6	-6,5	2,0	0,0
GUAYAS	62,6	53,4	12,5	7,1	66,4	57,8	35,0	35,0	-5,8	-6,4	2,0	0,0
AYUCUCHO	63,8	54,7	12,2	9,1	69,0	60,1	40,0	40,0	-5,2	-5,5	0,0	0,0
SANTA ROSA	62,7	56,0	13,2	13,0	67,7	61,1	40,0	40,0	-5,1	-5,1	0,0	0,0
AV. VELA	63,8	55,0	13,8	11,1	68,2	59,7	45,0	45,0	-4,4	-4,6	0,0	0,0
Universidad de las Américas ECUADOR												

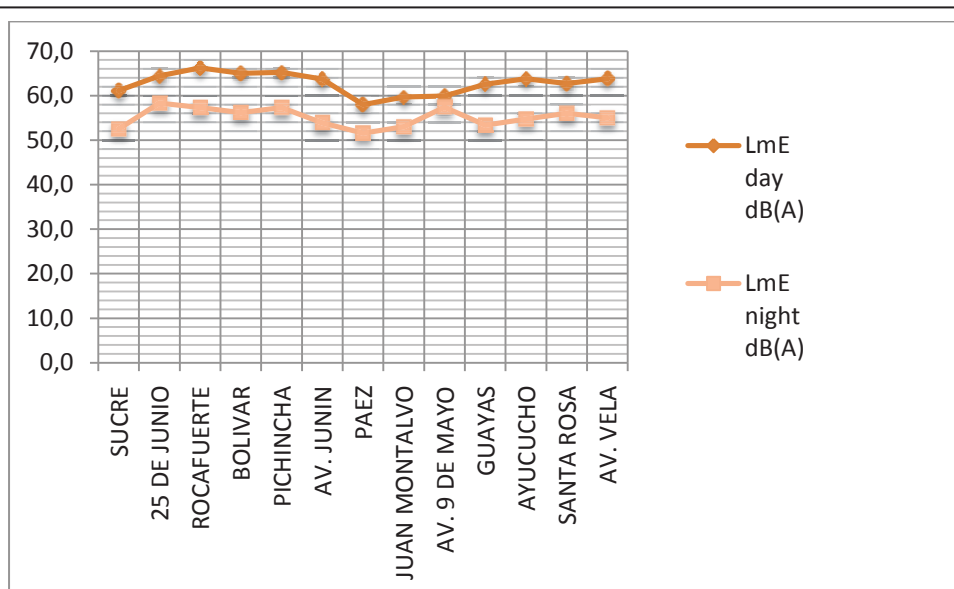


Figura 22. Nivel medio de emisión de la fuente - día ($L_{mE_{day}}$) vs. Nivel medio de emisión de la fuente - noche ($L_{mE_{night}}$)

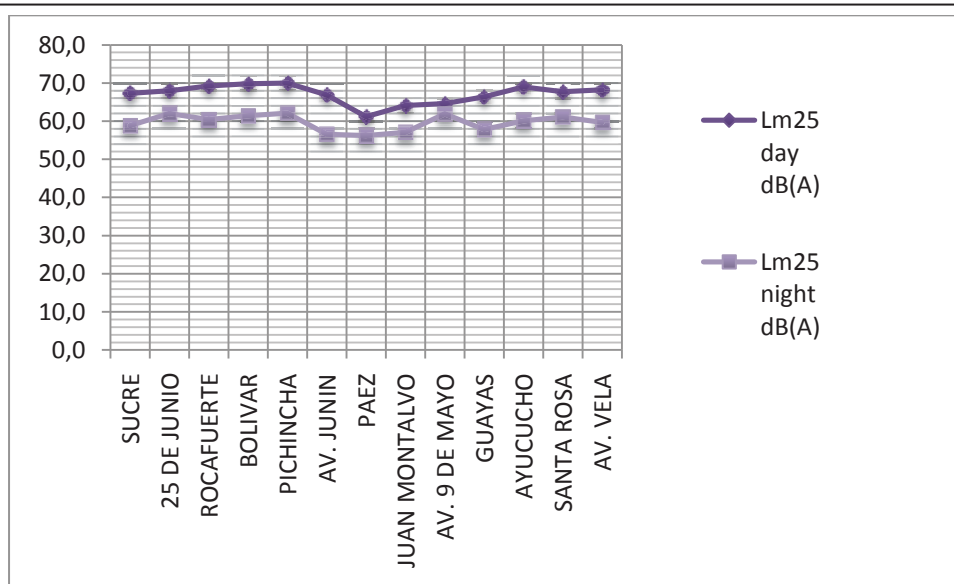


Figura 23. $L_{m25_{day}}$ vs. $L_{m25_{night}}$

a. El valor L_{m25} representa el nivel de emisión de las fuentes de línea por metro de boca del túnel formado por las construcciones a los lados de la vía.

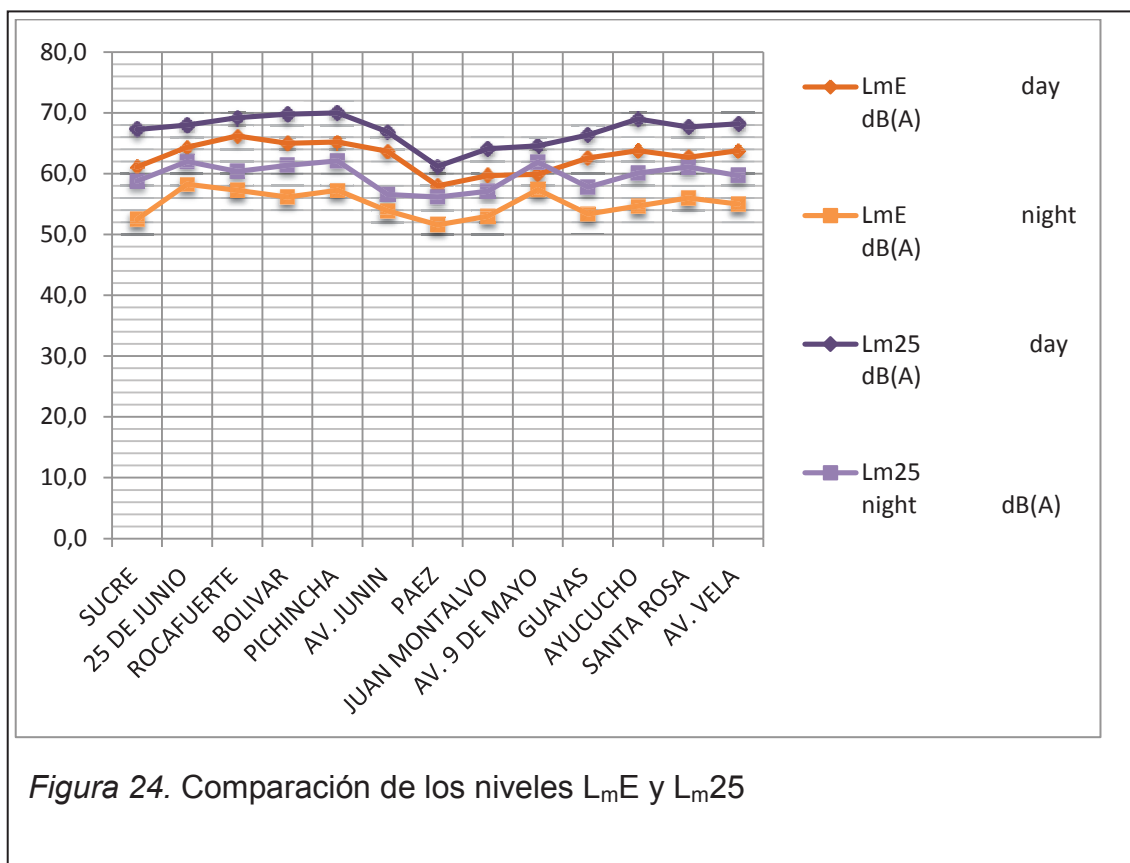


Tabla 12. Información de receptores – Nivel de comparación

Machala								
Beurteilungspegel - SEMANA MACHALA [dB(A)]								
Receiver	Usage	Dir	LrD,lim	LrN,lim	LrS,lim	LrD	LrN	LrS
R1	MI	NE	64	54	54	71,1	59,4	69,5
R2	MI	SW	64	54	54	71,6	61,8	70,1
Universidad de las Americas ECUADOR								

3.3. Análisis de Resultados sobre cálculos de SoundPlan

Los resultados obtenidos en los cálculos realizados por SoundPLAN 6.3 en la Figura 22 donde se graficó el nivel medio de emisión de la fuente (L_{mE}), muestra que los niveles son menores tanto en día como en la noche en comparación al valor L_{m25} . Esta diferencia radica en la naturaleza de cada valor. Como se mencionó anteriormente, en el L_{mE} se calcula el nivel emitido por la fuente (vía) a 25 metros de distancia y 4 metros sobre el suelo por lo cual

el nivel es menor al calculado para el L_{m25} mismo que calcula el nivel cada metro dentro del túnel formado por la vía y construcciones cercanas.

Es importante recalcar que estos parámetros no son los valores que se obtendrán en los mapas, sin embargo a partir de ellos se genera la proyección y se obtendrán los Leq finales para cada mapa.

La Tabla 12 indica los valores medidos en los receptores ubicados en el modelo digital, mismos que responden a los lugares precisos donde se realizaron las mediciones de ruido para validación de los mapas.

3.4. Mapas de Ruido

Se generaron 6 mapas de ruido semanales que han sido resultado del desarrollo antes indicado. Los mapas están a tres alturas diferentes 1,5 y 4 metros sobre el suelo, en cada altura se obtuvieron los mapas de L_{24} , LD y LN.

A continuación se presentarán los mapas de ruido en alturas de 1,5 y 4 metros:

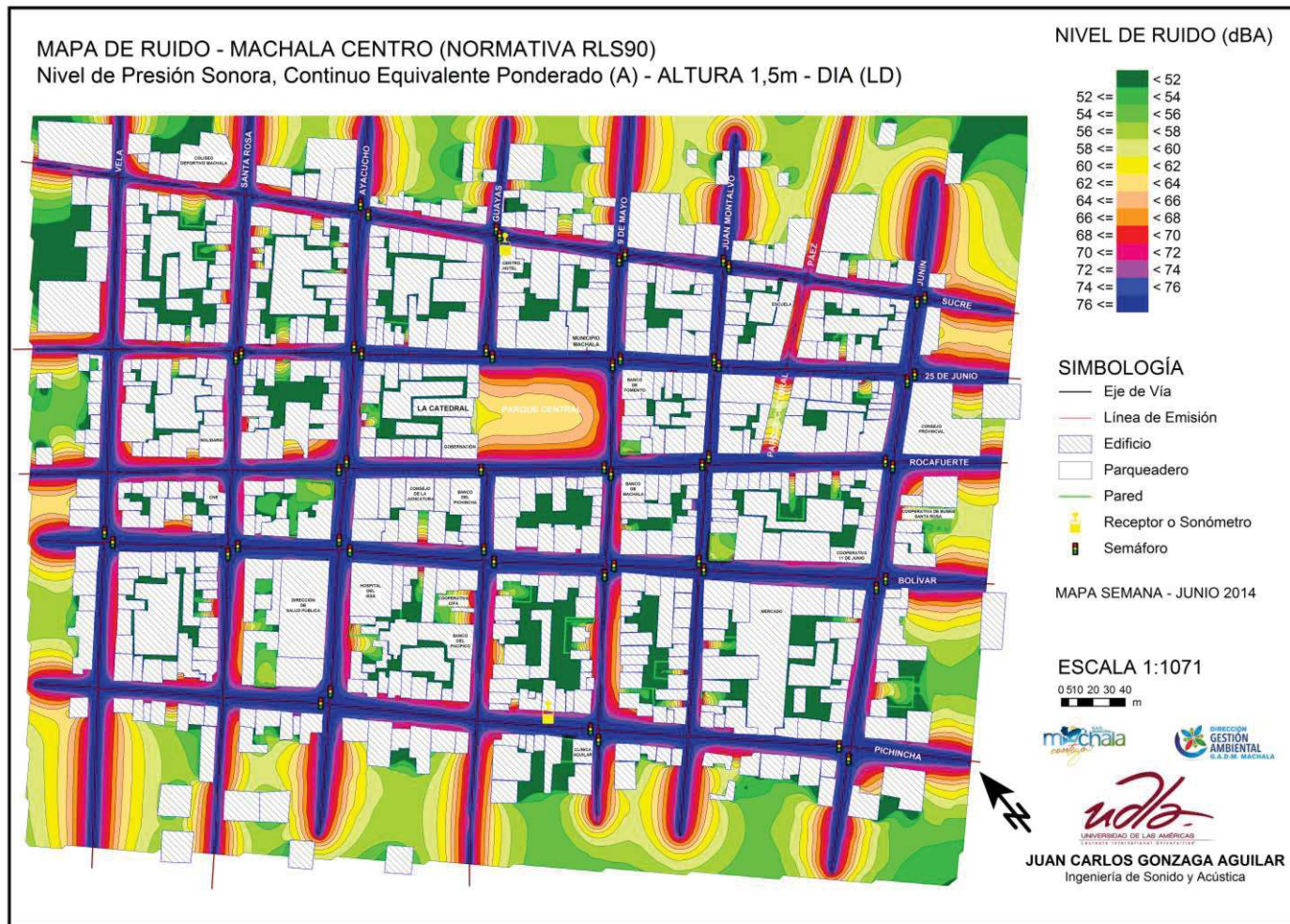


Figura 25. Mapa de ruido LD con altura de 1,5 metros realizado con la normativa RLS-90.

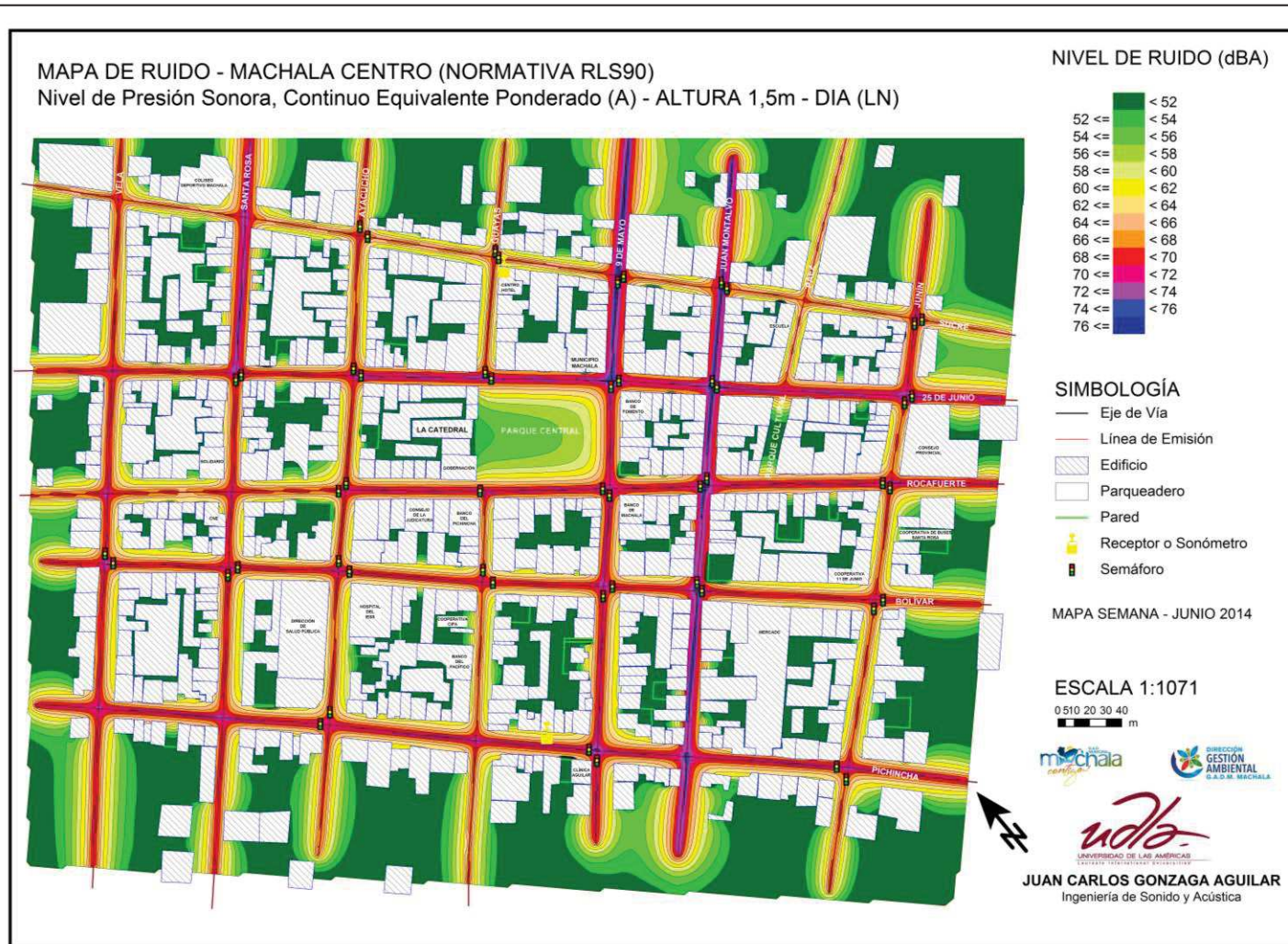


Figura 26. Mapa de ruido LN con altura de 1,5 metros realizado con la normativa RLS-90.

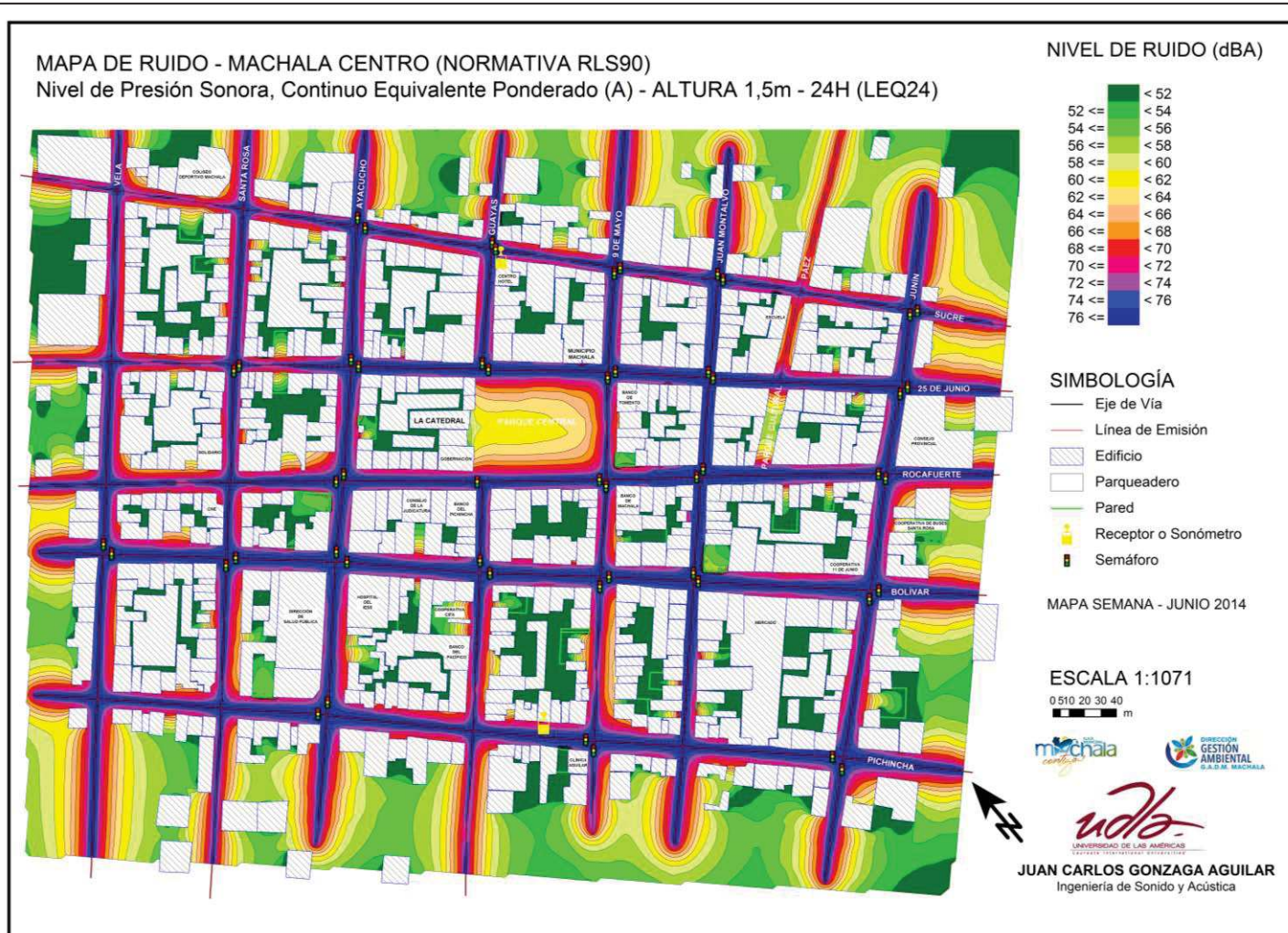


Figura 27. Mapa de ruido Leq24 con altura de 1,5 metros realizado con la normativa RLS-90.

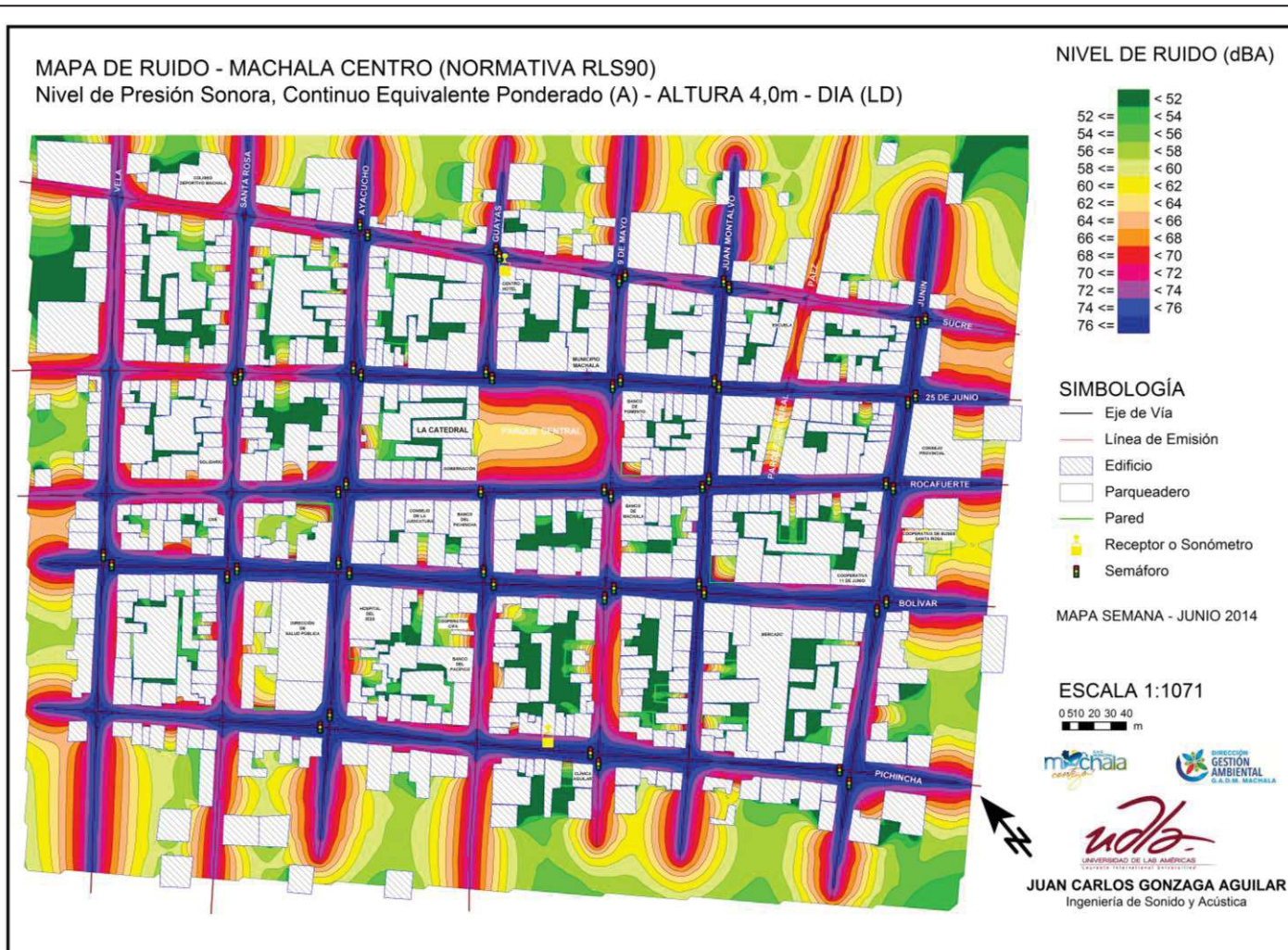


Figura 28. Mapa de ruido LD con altura de 4 metros realizado con la normativa RLS-90.

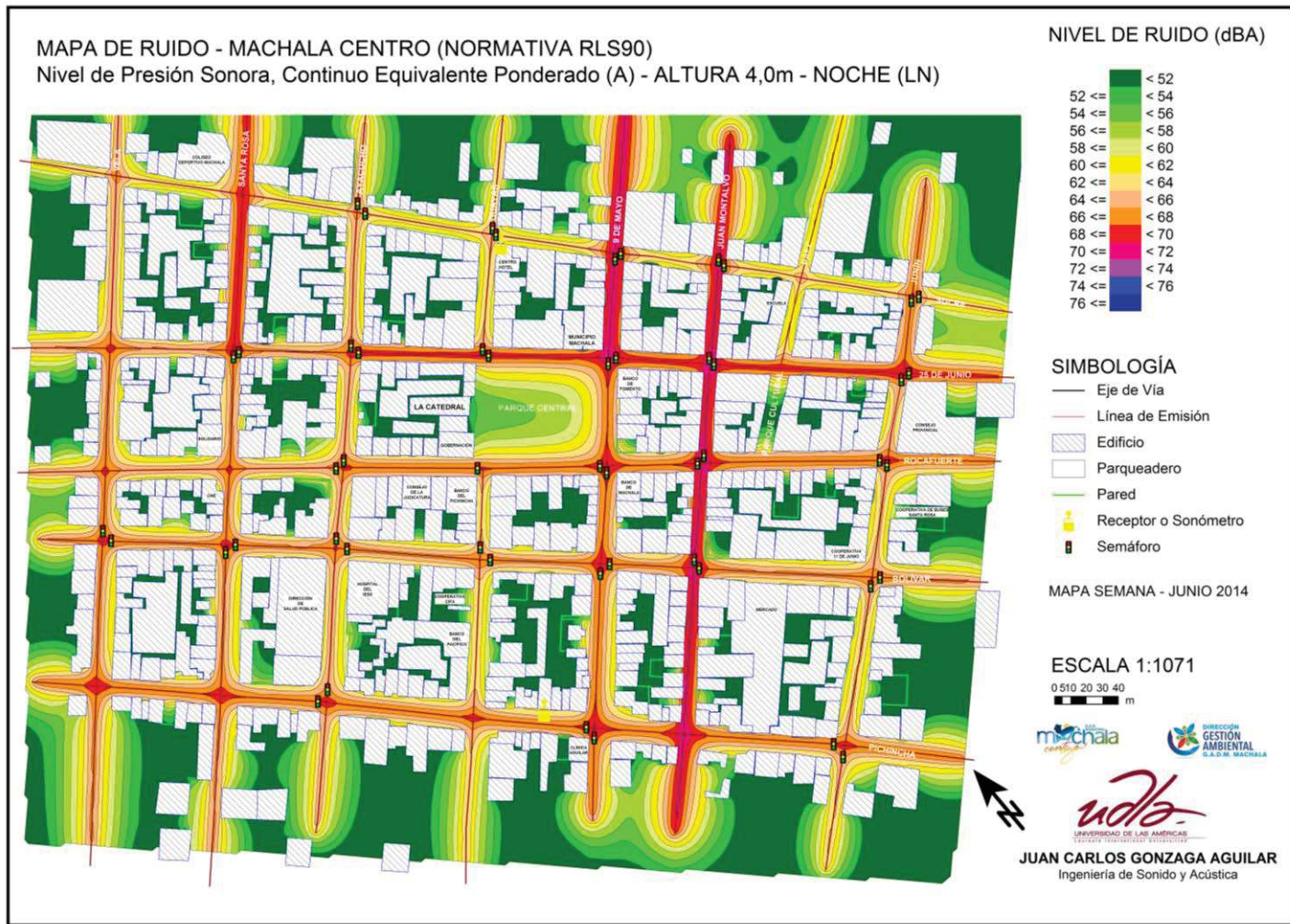


Figura 29. Mapa de ruido LN con altura de 4 metros realizado con la normativa RLS-90.

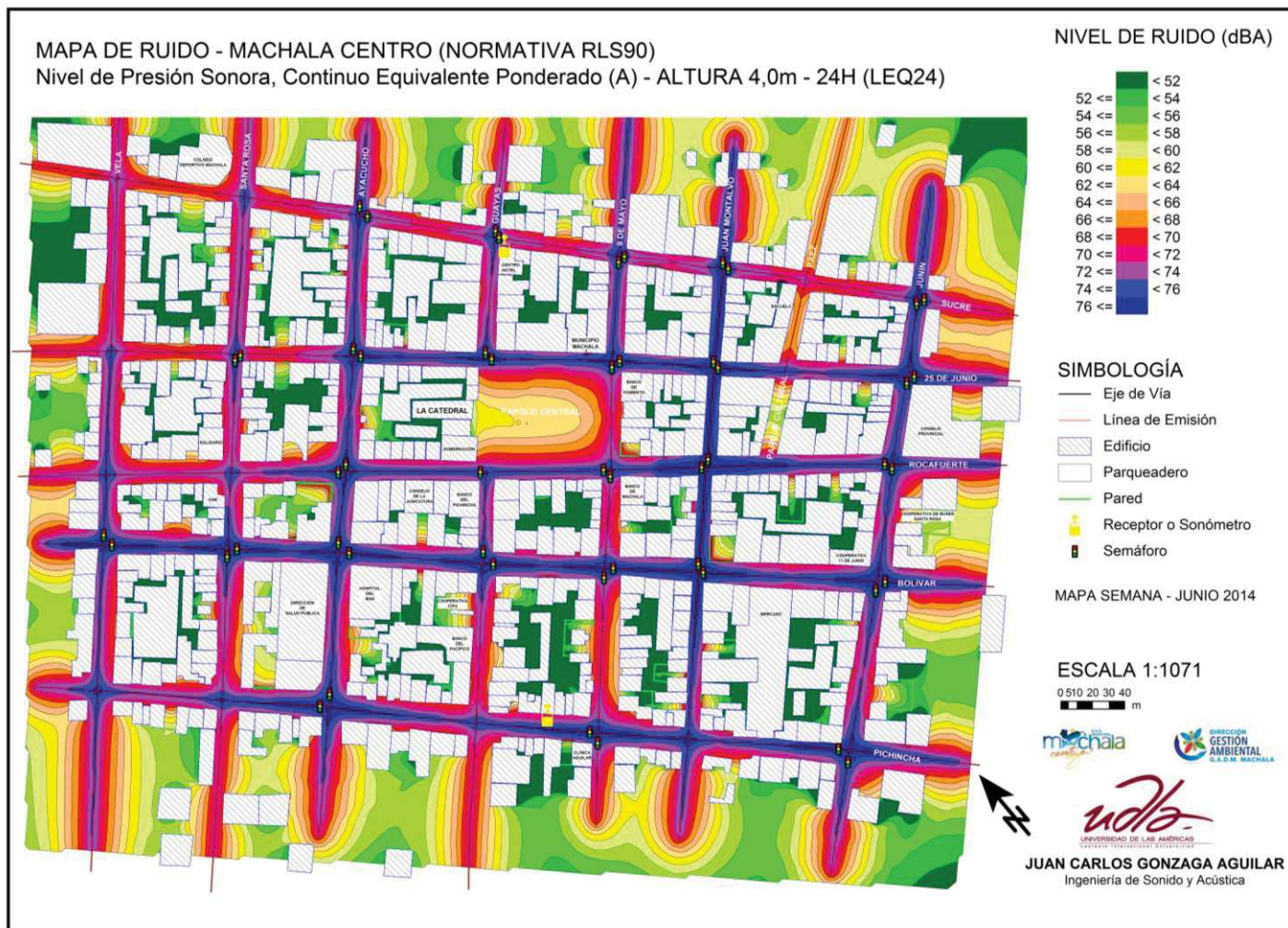


Figura 30. Mapa de ruido Leq24 con altura de 4 metros realizado con la normativa RLS-90.

3.4.1. Validación de los mapas de ruido

Todo modelo predictivo debe pasar por un proceso de validación para ser aceptado como una proyección acorde a la situación real del sector, debido a esto se toman muestras in-situ que permitan comparar la información.

Por este motivo se realizaron mediciones acústicas en dos sitios con gran incidencia de ruido, las cuales para garantizar su precisión han sido efectuadas durante el tiempo para el cual se generaron los mapas. Se ejecutaron en tiempo real con dos dispositivos de la misma marca y serie (sonómetro PCE-322A), los cuales previo al proceso de medición se calibraron en campo; adicional se anexa los respectivos certificados de calibración de fábrica de cada dispositivo.

La tabla a continuación presenta los valores globales obtenidos por SoundPLAN 6.3, así como los resultados integrados de las mediciones:

Tabla 13. Resultados obtenidos a través de SoundPLAN y mediciones in-situ.

DATOS DEL MODELO VS. DATOS DE MEDICIÓN - SEMANA MACHALA									
Receiver	LrD,lim	LrN,lim	LrS,lim	LrD	LD	LrN	LN	LrS	L24
R1	64	54	54	71,1	69,9	59,4	58,9	69,5	68,4
R2	64	54	54	71,6	70,2	61,8	60,8	70,1	68,7
Universidad de las Américas ECUADOR									

En la tabla se observan los datos entregados por el software en color plomo y, mientras que los niveles obtenidos por las mediciones se encuentran en color celeste. La diferencia entre estos niveles se presentará en la siguiente tabla:

Tabla 14. Diferencia entre resultados obtenidos a través de SoundPLAN 6.3 y mediciones in-situ.

DIFERENCIA DE NIVEL [dB(A)]			
Receptor	Leq24	LD	LN
R1	1,2	0,5	1,1
R2	1,4	1	1,4

Como se puede apreciar, la diferencia entre los niveles del modelo versus los medidos es positiva, indicando que el modelo presenta mayor nivel. La diferencia máxima de 1,4 dB(A) ocurre en el Leq24 y LN del receptor 2 (R2).

Los sonómetros de tipo II, característica del dispositivo utilizado, presentan un error promedio de ± 1 dB, lo que nos permite asumir que la diferencia entre los niveles del modelo y los obtenidos por mediciones se encuentra en rangos aceptables y se puede reconocer a los mapas como predicciones acertadas de la situación del sector.

4. Capítulo IV. Evaluación de mapas de ruido

4.1. Guías para el ruido urbano

(Organización Mundial de la Salud, 1999) En la ciudad de Londres, la OMS presentó un documento realizado por un grupo de expertos en materia de ruido quienes analizaron los efectos del ruido sobre la salud del hombre y el riesgo de someterse a su exposición.

El documento entre sus páginas presenta una tabla que resulta el instrumento más adecuado para realizar un diagnóstico de la situación actual del sector definida en los mapas de ruido, esto en función de los niveles sonoros y tiempos de exposición.

4.1.1. Valores de referencia para el ruido urbano según la actividad

La OMS identificó los efectos que el ruido puede ocasionar en ambientes urbanos, para ello elaboró tabla que se presenta en la gráfica a continuación:

Tabla 15. Efectos sobre la salud que los niveles de ruido ocasionan según ambientes específicos.

Cuadro 1 : Valores guía para el ruido urbano en ambientes específicos

Ambiente Específico	Efecto(s) crítico(s) sobre la salud	L_{Aeq} [dB(A)]	Tiempo [horas]	L_{max} fast [dB]
Exteriores	Molestia grave en el día y al anochecer	55	16	-
	Molestia moderada en el día y al anochecer	50	16	-
Interior de la vivienda, dormitorios	Interferencia en la comunicación oral y molestia moderada en el día y al anochecer	35	16	
	Trastorno del sueño durante la noche	30	8	45
Fuera de los dormitorios	Trastorno del sueño, ventana abierta (valores en exteriores)	45	8	60
Salas de clase e interior de centros preescolares	Interferencia en la comunicación oral, disturbio en el análisis de información y comunicación del mensaje	35	Durante clases	-
Dormitorios de centros preescolares, interiores	Trastorno del sueño	30	Durante el descanso	45
Escuelas, áreas exteriores de juego	Molestia (fuente externa)	55	Durante el juego	-
Hospitales, pabellones, interiores	Trastorno del sueño durante la noche	30	8	40
	Trastorno del sueño durante el día y al anochecer	30	16	-
Hospitales, salas de tratamiento, interiores	Interferencia en el descanso y la recuperación	#1		
Áreas industriales, comerciales y de tránsito, interiores y exteriores	Deficiencia auditiva	70	24	110
Ceremonias, festivales y eventos de entretenimiento	Deficiencia auditiva (patrones: < 5 veces/año)	100	4	110
Discursos públicos, interiores y exteriores	Deficiencia auditiva	85	1	110
Música y otros sonidos a través de audífonos o parlantes	Deficiencia auditiva (valor de campo libre)	85 #4	1	110
Sonidos de impulso de juguetes, fuegos artificiales y armas	Deficiencia auditiva (adultos)	-	-	140 #2
	Deficiencia auditiva (niños)	-	-	120 #2
Exteriores de parques de diversión y áreas de conservación	Interrupción de la tranquilidad	#3		

#1: Lo más bajo posible.

#2: Presión sonora máxima (no LAF, máx) medida a 100 mm del oído.

#3: Se debe preservar la tranquilidad de los parques y áreas de conservación y se debe mantener baja la relación entre el ruido intruso y el sonido natural de fondo.

#4: Con audífonos, adaptado a valores de campo libre.

Tomado de Organización Mundial de la Salud, 1999, p. 16.

Con esta información, se realizará una evaluación de diferentes recintos que han sido considerados sensibles a la incidencia de niveles altos de presión sonora.

4.2. Evaluación general de los mapas de ruido

La información recabada dentro de los mapas muestra un conjunto de colores en cada vía. Estos colores indican el nivel de presión sonora equivalente (L_{eq}) generado por la circulación vehicular, la energía acústica representada por este código de colores interactúa con el medio y a medida que los niveles de ruido sufren atenuación por distancia, va decayendo su energía. En el paso de la energía acústica se cruzaran obstáculos (superficies, barreras, etc.) que tendrán interacción directa y continuará el proceso de atenuación de las ondas sonoras hasta llegar a los receptores, quienes se asume que se encontrarán dentro de las edificaciones levantadas en el modelo, así como, en los exteriores.

La evaluación de los niveles de ruido se realiza desde el punto de vista de la molestia que se genera hacia las personas (receptor). Cada actividad que una persona se encuentre ejecutando puede verse interferida por la contaminación acústica, esto depende de la naturaleza de la actividad, así por ejemplo; para realizar actividades que requieren concentración mental, es necesario que en el lugar se presenten niveles de ruido bajos. Otro caso es el de las actividades de entretenimiento, para las cuales el nivel de ruido ambiental puede pasar desapercibido y en el peor de los casos el ruido ocasionado puede convertir en una fuente generadora a la actividad misma.

El mapa de ruido de tráfico obtenido se considera una herramienta que identifica posibles problemas de carácter acústico en el sector del centro urbano de la ciudad de Machala. La identificación de estos problemas se realizó mediante comparaciones con normas internacionales, estas indican los niveles máximos de ruido para poder efectuar diferentes actividades sin sufrir algún efecto nocivo para la persona.

Los niveles que se observan en los mapas de ruido y que se obtuvieron con mediciones, varían entre 58 y 76 [dB] en el horario día y entre 50 y 70 [dB] en el horario nocturno. Se puede apreciar en los mapas sonoros una diferencia marcada de aproximada 2 [dB] entre los mapas a 1,5 y 4 metros, obteniéndose en la altura más baja los niveles más altos, lo cual responde a la cercanía con la fuente.

4.3. Evaluación en función de la población habitante en la zona de estudio

En el centro urbano de la ciudad de Machala existe una población residente de 1.914 personas entre los cuales 918 (48%) son hombres y 996 mujeres (52%) (INEN, 2010), población que está siendo afectada por los niveles de ruido incidentes en el sector.

La población residente se encuentra perjudicada en mayor medida en horas de la noche, periodo en el cual las personas descansan. Los niveles en el horario noche según el mapa de ruido y las mediciones se encuentran entre los 59 y 65 dB(A) mientras que la OMS a través del documento “Guías para el ruido urbano” indica que el nivel aceptable en dormitorios es de 30 dB(A), con un nivel máximo tolerable de 45 dB(A). Al exceder los niveles de ruido antes mencionados, se produce trastorno del sueño.

La población a la que se hizo mención, no involucra un número significativo en relación a número de personas que circulan diariamente por el centro y otras que realizan distintas actividades que en su gran mayoría son laborales y comerciales. Estas personas en el día se encuentran afectadas por niveles de hasta 76 dB, niveles que sobrepasan los límites máximos establecidos en El Real Decreto 1367/2007 y en la guía de la OMS.

4.4. Diagnóstico de la situación actual del sector en función de normas internacionales

El diagnóstico se llevó a cabo a través de la realización de una tabla donde se ubicaron los lugares dentro del mapa destinados a ser evaluados, se efectuó una comparación entre niveles generados por los mapas y los niveles que establece la *Tabla 15*. El resultado está en función de la incidencia del ruido de tráfico en cada ambiente específico, indicando cual es el efecto crítico sobre la salud del receptor al sobrepasar los niveles aceptables. (Ver Anexo 1)

Tabla 16. Lugares seleccionados para evaluación y situaciones en la que se encuentran (Mapas a 1,5 m de altura).

Sitios evaluados a partir de los mapas de ruido obtenidos a 1,5 [m]			
Nro.	Dirección (VÍA)	Lugar	Situaciones
1	Sucre y Guayas	CentroHotel (R1)	4 exceden 1 bien
2	Sucre y Santa Rosa	Coliseo Deportivo Machala	2 exceden
3	25 de Junio y 9 de Mayo	Municipio de Machala	3 exceden
4	Rocafuerte y Junín	Concejo Provincial de El Oro	3 exceden
5	Rocafuerte y 9 de Mayo	Banco de Machala	3 exceden
6	Rocafuerte y Guayas	Gobernación de El Oro	2 exceden 1 bien
7	Rocafuerte entre Guayas y Ayacucho	Concejo de la Judicatura de El Oro	3 exceden
8	Rocafuerte y Ayacucho	Concejo Nacional Electoral (CNE)	2 exceden 1 bien
9	Bolívar y Junín	Coop. 11 de Junio	2 exceden 1 bien
10	Bolívar entre Junín y Juan Montalvo	Mercado Sur	2 exceden 1 bien
11	Bolívar y Ayacucho	Hospital del IESS	4 exceden 1 sin definir

12	Bolívar y Ayacucho	Dirección de Salud Pública Zonal 2	2 exceden 1 bien
13	Pichincha y 9 de Mayo	Clínica Aguilar	4 exceden 1 sin definir
14	Pichincha entre 9 de Mayo y Guayas	Consultorio Médico Dr. Zamora (R2)	2 exceden 1 sin definir
15	Junín entre Bolívar y Rocafuerte	Coop. de Buses Santa Rosa	2 exceden 1 sin definir
16	Páez entre 25 de Junio y Rocafuerte	Parque Cultural Diego Minuche	1 sin definir
17	Páez entre 25 de Junio y Sucre	Escuela Isabel La Católica	2 exceden
18	Guayas entre 25 de Junio y Rocafuerte	Catedral de Machala	2 exceden 2 bien
19	Guayas entre 25 de Junio y Rocafuerte	Parque Central	1 sin definir
20	Guayas entre Bolívar y Pichincha	Banco del Pacífico	2 exceden 1 bien
21	Guayas entre Bolívar y Pichincha	Coop. de Transporte CIFA	2 exceden 1 bien

Como resultado se obtuvieron 48 situaciones que exceden los niveles de ruido que recomienda la *Tabla 15.*, 9 situaciones que no presentan problema y 6 que no se pudieron definir debido a la naturaleza de la actividad en el ambiente específico.

Tabla 17. Lugares seleccionados para evaluación y situaciones en la que se encuentran (Mapas a 4 m de altura).

Sitios evaluados a partir de los mapas de ruido obtenidos a 4 [m]			
Nro.	Dirección (VÍA)	Lugar	Situaciones
1	Sucre y Guayas	CentroHotel (R1)	2 exceden 1 bien
2	25 de Junio y 9 de Mayo	Municipio de Machala	1 bien
3	Rocafuerte y Junín	Concejo Provincial de El Oro	1 bien

4	Rocafuerte y 9 de Mayo	Banco de Machala	1 bien
5	Rocafuerte y Guayas	Gobernación de El Oro	1 bien
6	Rocafuerte entre Guayas y Ayacucho	Concejo de la Judicatura de El Oro	1 bien
7	Rocafuerte y Ayacucho	Concejo Nacional Electoral (CNE)	1 bien
8	Bolívar y Junín	Coop. 11 de Junio	1 bien
9	Bolívar entre Junín y Juan Montalvo	Mercado Sur	1 bien
10	Bolívar y Ayacucho	Hospital del IESS	2 exceden 1 sin definir
11	Bolívar y Ayacucho	Dirección de Salud Pública Zonal 2	1 bien
12	Pichincha y 9 de Mayo	Clínica Aguilar	2 exceden 1 sin definir
13	Pichincha entre 9 de Mayo y Guayas	Consultorio Médico Dr. Zamora (R2)	1 sin definir
14	Junín entre Bolívar y Rocafuerte	Coop. de Buses Santa Rosa	1 bien
15	Páez entre 25 de Junio y Rocafuerte	Parque Cultural Diego Minuche	1 sin definir
16	Páez entre 25 de Junio y Sucre	Escuela Isabel La Católica	1 exceden
17	Guayas entre 25 de Junio y Rocafuerte	Catedral de Machala	2 bien
18	Guayas entre 25 de Junio y Rocafuerte	Parque Central	1 sin definir
19	Guayas entre Bolívar y Pichincha	Banco del Pacífico	1 bien
20	Guayas entre Bolívar y Pichincha	Coop. de Transporte CIFA	1 bien

El resultado de la evaluación de los mapas a 4 metros de altura difiere de la evaluación anterior en número de situaciones debido a la naturaleza de las actividades que se llevan a cabo en la zona de estudio a dicha altura.

De esta manera se obtuvieron, 15 situaciones que presentan niveles de ruido tolerables, 7 situaciones donde los niveles exceden lo recomendado por la OMS y 5 casos sin definir, de un total de 20 establecimientos evaluados.

5. Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Se ha levantado el modelo digital de la zona de estudio, y a la vez se obtiene el modelamiento acústico del ruido de tráfico, mediante mediciones de los puntos más representativos de la zona, en los cuales la actividad humana se ve afectada por el ruido. Los resultados que entregan las mediciones y mapas reflejan una realidad preocupante en cuanto a niveles de ruido en el sector.
- La validación de los mapas de ruido permitió admitir los modelos como una representación aceptable de la situación de la zona de estudio, la información recabada en campo y los mapas servirán como línea base de las principales variables que influyen en la generación de los niveles de ruido, para posteriores comparaciones de la situación acústica de la ciudad.
- Se ha obtenido los mapas de ruido del periodo diurno y nocturno, utilizando el software SoundPLAN 6.3; y haciendo una comparación, se determina una marcada diferencia entre los dos, siendo el periodo diurno el que presenta niveles más altos; sin embargo el periodo nocturno a pesar de ser inferior sobrepasa los niveles tolerables al igual que el periodo diurno.
- Se identificaron en la zona de estudio varios lugares (establecimientos) que se consideraron sensibles, los cuales debido a la naturaleza de las actividades que en ellos se realizan, permitieron identificar que en su mayoría los niveles de ruido exceden los permitidos por la OMS.
- El tráfico vehicular representa una fuente de ruido compleja de analizar y tratar, los estudios para obtener datos sobre este fenómeno son largos y requieren de mucho tiempo para conseguir datos reales y valederos. Si bien el presente trabajo fue validado con mediciones in-situ, esto se pudo

llevar a cabo de mejor manera incrementando el número de mediciones en varios puntos.

- Es necesaria la intervención de los poderes públicos para avanzar con la lucha contra la contaminación acústica, que conlleve a implementar acciones de prevención y control de actividades para mantener el equilibrio auditivo y en consecuencia el bienestar ciudadano y planeamiento urbanístico.
- El trabajo presenta una metodología de evaluación que puede ser aplicada fácilmente por funcionarios de las áreas ambientales y de salud de las diferentes instituciones reguladoras. La aplicación de la metodología ideada, hace de los mapas de ruido una herramienta atractiva y útil para determinar el impacto que los niveles de presión sonora causan en la salud y el ambiente de las personas expuestas.

5.2. Recomendaciones

- Que las autoridades locales consideren la presente investigación como referente para la implementación de políticas, afines al modelamiento acústico del ruido de tráfico implementado, con el propósito de reducir los niveles de ruido, especialmente en los puntos más representativos de la zona.
- Que la información y los mapas de ruido obtenidos a través de esta investigación sean considerados como línea base de las principales variables que influyen en el ruido ambiente, para posteriores comparaciones de nueva información de la situación acústica de la ciudad.
- Por la precisión y características técnicas que proporciona el software SoundPLAN 6.3, se obtiene información válida y funcional de los periodos diurnos y nocturnos, por lo que se recomienda que los mapas obtenidos

sean utilizados por las autoridades locales y como medio de consulta por ser información primaria.

- Los mapas de ruido de tráfico constituyen una herramienta útil para los Gobiernos locales que deseen o sientan la necesidad de implantar medidas preventivas y correctivas sobre el ruido incidente en la ciudad. Sin duda el más importante recurso para evitar niveles de ruido que afecten al bienestar de las personas, es trabajar en un adecuado ordenamiento territorial, esto permitirá ubicar las diferentes actividades en zonas establecidas para cada uso.
- El tráfico vehicular es una problemática difícil de controlar, la necesidad de movilidad hace que las personas utilicen medios de transporte para llegar a sus destinos; debiendo los Gobiernos locales trabajar en campañas de movilidad sostenible que incentiven la adquisición de medios de transporte no motorizados y menos contaminantes.
- Es necesaria la intervención de los poderes públicos para avanzar con la lucha contra la contaminación acústica, a través del planeamiento urbanístico, acciones de prevención y control de actividades, para mantener niveles tolerantes de ruido; y en consecuencia el bienestar ciudadano.
- Debido a la gran cantidad de motocicletas que circulan en las calles de Machala, sería ideal realizar mapas de ruido con normativas que incluya este tipo de vehículo dentro de sus parámetros.
- Al no existir un procedimiento normado que indique la forma para evaluar la situación del sector reflejada en los mapas de ruido, se debe realizar la evaluación en base a datos que puedan permitir diseñar una metodología para llevar a cabo el fin.

REFERENCIAS

- Acevedo, R. (2011). *Ciencia y Tecnología*. Recuperado el 03 de enero de 2015 de <http://www.roberto-acevedo.cl/2011/02/apuntes-del-taller-serie-de-fourier/>.
- Acoustical Society of America. (2006). *Acústica en salones de clase (Vol. IX)*. México D.F., México.
- Alvarez, J. (2014). *Evaluación de Modelos de Predicción de Ruido de Tránsito Vehicular en Ciudades Pequeñas: Casos Ciudad de Valdivia y Osorno*. Recuperado el 03 de enero de 2015 de http://www.researchgate.net/publication/269395236_Evaluacin_de_mode los_de_prediccin_de_ruido_de_trnsito_vehicular_en_ciudades_pequeas_casos_ciudad_de_Valdivia_y_Osorno.
- Ayuntamiento de Málaga. (2005). *Plan Municipal de Movilidad Sostenible de Málaga*. Málaga, España.
- Bartí, R. (2010). *Acústica medioambiental Vol 1*. San Vicente del Raspeig: Club Universitario.
- Becker, J.-P. (2008). *Las Modificaciones en la Fabricación de los Sonómetros conforme a IEC 61672*. Medellín, Colombia.
- Bolaños, D. (2009). *Decibelímetros o sonómetros*. Recuperado el 22 de septiembre de 2014 de <http://www.geocities.ws/djbolanos/index2.htm>
- Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S - Madrid. (s.f.). *Brüel & Kjær 2270*. Recuperado el 22 de agosto de 2014 de <http://www.bksv.es/Products/handheld-instruments/sound-level-meters/sound-level-meters/type-2270>.
- Campana, P. (2011). *Planificación y ejecución de la investigación*. Quito, Ecuador.
- Carrasco y Calderón. (2007). *Aprendo a Investigar en Educación* (segunda ed.). España: RIALP S.A.
- Cenfor, C., & Villacampa, J. (2006). *Efectos Patológicos del Ruido*. Madrid, España.
- CESVA INSTRUMENTS SLU. (s.f.). *Cesva SC102*. Recuperado el de 22 de agosto de 2014 de <http://www.cesva.com/es/productos/sonometros/sc102/>.

- Cuadrado, C. (2002). *Ruido, Inmisiones y Edificación*. Madrid, España: Reus, S.A.
- García, J. J., & Vásquez Restrepo, J. F. (2013). *Determinación del grado de incertidumbre total asociado a las diferentes variables consideradas en el proceso de simulación de mapas de ruido automotor en los Software CadnaA Y SoundPLAN*. Medellín, Colombia: Universidad de San Buenaventura.
- Guarderas, J. (2011). *EVALUACIÓN DE MODELOS DE PREDICCIÓN DE RUIDO DE TRÁFICO APLICADOS A LA CIUDAD DE QUITO MEDIANTE EL SOFTWARE SOUNDPLAN 6.3*. Quito, Ecuador: Universidad de las Américas.
- INEN. (2010). *Censo de Población Y Vivienda*. Machala, Ecuador.
- Institut Cerdá. (2010). *Logística Urbana*. Madrid, España.
- Iturraspe, N. G., & Sanmartin, M. L. (2011). *Herramienta para la evaluación de la calidad acústica de un entorno urbano*. Pamplona, España: Universidad Pública de Navarra.
- Josep ma Gudayol. (2011). *Situación actual*. Recuperado el 03 de enero de 2015 de <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3421/5/37389-5.pdf>.
- Ministerio del Ambiente. (2002). *Libro VI Anexo 5. Norma técnica que establece los límites permisibles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles*. Quito, Ecuador.
- Miyara, F. (1999). *Control de ruido*. Bogotá, Colombia: ASOLOFAL.
- Miyara, F. (2004). *Ruido Urbano: tránsito, industria y esparcimiento*. Montevideo, Uruguay.
- Morales, J. (2009). *ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE DETERMINADAS VARIABLES*. Recuperado el 15 de diciembre de 2104, de http://oa.upm.es/2487/1/JAVIER_MORALES_PEREZ.pdf.
- Organización Mundial de la Salud. (1999). *GUÍAS PARA EL RUIDO URBANO*. Londres, Inglaterra.
- Rubio, C. (2005). *Manual para la formación de nivel superior en prevención de riesgos laborales*. España: Díaz de Santos.

Google Maps. (s.f.). *Zona seleccionada para estudio*. Recuperado el 03 de enero de 2015, de <https://www.google.com.ec/maps/@-3.2583817,-79.9589001,842m/data=!3m1!1e3>.

pce-instruments. (s.f.). Sonómetro PCE 322A. Recuperado el 03 de enero de 2015 de https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-de-medida/medidor/sonometro-pce-instruments-hk-ltd.-son_metro-pce-322a-det_93858.htm

SoundPLAN essential 3.0. (s.f.). *SoundPLAN essential 3.0*. Recuperado el 03 de enero de 2015 de <http://www.soundplan.com/essential.htm>.

ANEXOS

ANEXO I

Tabla 18. Cuadro de evaluación de mapas de ruido.

Evaluación de los efectos a la salud de las personas según los niveles obtenidos en los mapas con alturas de 1,5 [m]												
Nro.	Dirección (Vía)	Lugar	Ambiente específico	Actividad	Horario de evaluación según mapa de ruido	Nivel de ruido incidente en fachada Leq [dB(A)]	Nivel aceptable Leq [dB(A)]	Nivel máximo soportable Leq Max [dB(A)]	Diferencia entre nivel incidente [dB(A)]	Efecto	Tiempo de exposición [Horas]	x/√
Avenidas Principales												
1	Sucre y Guayas	CentroHotel (R1)	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	72	50	-	22	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x
							55	-	17	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Dormitorios	Hospedaje	Día	72	35	-	37	Interferencia en la comunicación oral y molestia moderada en el día y anochecer	16	x
					Noche	60	30	45	15	Trastorno de sueño durante la noche	8	x
Fuera de los dormitorios	Noche	60	45	60	0	Trastorno de sueño, ventana abierta	8	√				

2	Sucre y Santa Rosa	Coliseo Deportivo Machala	Exteriores	Deportes	24 horas	68	50	-	18	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x
							55	-	13	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
3	25 de Junio y 9 de Mayo	Municipio de Machala	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	74	50	-	24	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x
							55	-	19	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	74	70	110	4	Deficiencia auditiva	24	x
4	Rocafuerte y Junín	Concejo Provincial de El Oro	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	74	50	-	24	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x
							55	-	19	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	74	70	110	4	Deficiencia auditiva	24	x
5	Rocafuerte y 9 de Mayo	Banco de Machala	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	74	50	-	24	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x
							55	-	19	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x

			Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	74	70	110	4	Deficiencia auditiva	24	x
6	Rocafuerte y Guayas	Gobernación de El Oro	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	72	50	-	22	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x
							55	-	17	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	72	70	110	2	Deficiencia auditiva	24	√
7	Rocafuerte entre Guayas y Ayacucho	Concejo de la Judicatura de El Oro	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	74	50	-	24	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x
							55	-	19	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	74	70	110	4	Deficiencia auditiva	24	x
8	Rocafuerte y Ayacucho	Concejo Nacional Electoral (CNE)	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	68	50	-	18	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x
							55	-	13	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	68	70	110	-2	Deficiencia auditiva	24	√
9	Bolívar y Junín	Coop. 11 de Junio	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	70	50	-	20	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x

							55	-	15	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	70	70	110	0	Deficiencia auditiva	24	√
10	Bolívar entre Junín y Juan Montalvo	Mercado Sur	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	68	50	-	18	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x
							55	-	13	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Área comercial y de tránsito interiores	Comercio al por menor	24 horas	70	70	110	0	Deficiencia auditiva	24	√
11	Bolívar y Ayacucho	Hospital del IESS	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	68	50	-	18	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x
							55	-	13	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Hospitales, pabellones, interiores	Tránsito peatonal	Día	72	30	40	42	Trastorno del sueño durante el día y el anochecer	16	x
					Noche	58	30	-	28	Trastorno de sueño durante la noche	8	x
			Hospitales, salas de tratamiento interiores	Reposo / Curaciones	24 horas	68	Lo más bajo posible	-	-	Interferencia del descanso y la recuperación	-	-
12	Bolívar y Ayacucho	Dirección de Salud Pública Zonal 2	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	72	50	-	22	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x

							55	-	17	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	72	70	110	2	Deficiencia auditiva	24	√
13	Pichincha y 9 de Mayo	Clínica Aguilar	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	72	50	-	22	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x
							55	-	17	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Hospitales, pabellones, interiores	Tránsito peatonal	Día	74	30	40	44	Trastorno del sueño durante el día y el anochecer	16	x
					Noche	66	30	-	36	Trastorno de sueño durante la noche	8	x
			Hospitales, salas de tratamiento interiores	Reposo / Curaciones	24 horas	72	Lo más bajo posible	-	-	Interferencia del descanso y la recuperación	-	-
14	Pichincha entre 9 de Mayo y Guayas	Consultorio Médico Dr. Zamora (R2)	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	68	50	-	18	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x
							55	-	13	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Hospitales, salas de tratamiento interiores	Reposo / Curaciones	24 horas	68	Lo más bajo posible	-	-	Interferencia del descanso y la recuperación	-	-
Calles Transversales												
15	Junín entre Bolívar y Rocafuerte	Coop. de Buses Santa Rosa	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	68	50	-	18	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x

							55	-	13	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Área comercial y de tránsito exteriores	Transporte vehicular	24 horas	70	70	110	0	Deficiencia auditiva	24	-
16	Páez entre 25 de Junio y Rocafuerte	Parque Cultural Diego Minuche *	Exteriores de parques	Tránsito peatonal	24 horas	64	Se debe preservar la tranquilidad y se debe mantener bala la relación entre el ruido intruso y el sonido natural de fondo	-	-	Interrupción de la tranquilidad	-	-
17	Páez entre 25 de Junio y Sucre	Escuela Isabel La Católica	Escuelas, áreas exteriores de juego	Recreación	Día	66	55	-	11	Molestia	Durante el Juego	x
			Salas de clase	Estudio	Día	66	35	-	31	Interferencia en la comunicación oral, disturbio en el análisis de información y comunicación del mensaje	Durante clases	x
18	Guayas entre 25 de Junio y Rocafuerte	Catedral de Machala **	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	58	50	-	8	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x
							55	-	3	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Discursos públicos en	Iglesia	Día	60	85	110	-25	Deficiencia auditiva	1	√

			interiores y exteriores		Noche	50	85	110	-35		1	√
19	Guayas entre 25 de Junio y Rocafuerte	Parque Central ***	Exteriores de parques	Tránsito peatonal	24 horas	62	Se debe preservar la tranquilidad y se debe mantener bala la relación entre el ruido intruso y el sonido natural de fondo	-	-	Interrupción de la tranquilidad	-	-
20	Guayas entre Bolívar y Pichincha	Banco del Pacífico	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	58	50	-	8	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x
							55	-	3	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	58	70	110	-12	Deficiencia auditiva	24	√
21	Guayas entre Bolívar y Pichincha	Coop. de Transporte CIFA	Exteriores	Tránsito peatonal	24 horas	74	50	-	24	Molestia moderada en el día y al anochecer	16	x
							55	-	19	Molestia grave en el día y al anochecer	16	x
			Área comercial y de tránsito exteriores	Transporte vehicular	24 horas	66	70	110	-4	Deficiencia auditiva	24	√

Tabla 19. Cuadro de evaluación de mapas de ruido.

Evaluación de los efectos a la salud de las personas según los niveles obtenidos en los mapas con alturas de 4 [m]											
Nro .	Dirección (Vía)	Lugar	Ambiente específico	Actividad	Horario de evaluación según mapa de ruido	Nivel de ruido incidente en fachada Leq [dB(A)]	Nivel aceptable Leq [dB(A)]	Nivel máximo soportable Leq Max [dB(A)]	Diferencia entre nivel incidente [dB(A)]	Efecto	Tiempo de exposición [Horas]
Avenidas Principales											
1	Sucre y Guayas	CentroHotel (R1)	Dormitorios	Hospedaje	Día	72	35	-	37	Interferencia en la comunicación oral y molestia moderada en el día y anochecer	16
					Noche	60	30	45	15	Trastorno de sueño durante la noche	8
			Fuera de los dormitorios		Noche	60	45	60	0	Trastorno de sueño, ventana abierta	8
2	25 de Junio y 9 de Mayo	Municipio de Machala	Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	70	70	110	0	Deficiencia auditiva	24

3	Rocafuerte y Junín	Concejo Provincial de El Oro	Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	72	70	110	2	Deficiencia auditiva	24	√
4	Rocafuerte y 9 de Mayo	Banco de Machala	Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	72	70	110	2	Deficiencia auditiva	24	√
5	Rocafuerte y Guayas	Gobernación de El Oro	Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	72	70	110	2	Deficiencia auditiva	24	√
6	Rocafuerte entre Guayas y Ayacucho	Concejo de la Judicatura de El Oro	Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	72	70	110	2	Deficiencia auditiva	24	√
7	Rocafuerte y Ayacucho	Concejo Nacional Electoral (CNE)	Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	68	70	110	-2	Deficiencia auditiva	24	√
8	Bolívar y Junín	Coop. 11 de Junio	Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	72	70	110	2	Deficiencia auditiva	24	√
9	Bolívar entre Junín y Juan Montalvo	Mercado Sur	Área comercial y de tránsito interiores	Comercio al por menor	24 horas	72	70	110	2	Deficiencia auditiva	24	√
10	Bolívar y Ayacucho	Hospital del IESS	Hospitales, pabellones, interiores	Tránsito peatonal	Día	72	30	40	32	Trastorno del sueño durante el día y el anochecer	16	x
					Noche	60	30	-	30	Trastorno de sueño durante la noche	8	x
			Hospitales, salas de tratamiento interiores	Reposo / Curaciones	24 horas	68	Lo más bajo posible	-	-	Interferencia del descanso y la recuperación	-	-
11	Bolívar y Ayacucho	Dirección de Salud Pública Zonal 2	Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	70	70	110	0	Deficiencia auditiva	24	√
12	Pichincha y 9 de Mayo	Clínica Aguilar	Hospitales, pabellones, interiores	Tránsito peatonal	Día	74	30	40	34	Trastorno del sueño durante el día y el	16	x

										anochecer		
					Noche	64	30	-	34	Trastorno de sueño durante la noche	8	x
			Hospitales, salas de tratamiento interiores	Reposo / Curaciones	24 horas	72	Lo más bajo posible	-	-	Interferencia del descanso y la recuperación	-	-
13	Pichincha entre 9 de Mayo y Guayas	Consultorio Médico Dr. Zamora (R2)	Hospitales, salas de tratamiento interiores	Reposo / Curaciones	24 horas	70	Lo más bajo posible	-	-	Interferencia del descanso y la recuperación	-	-
Calles Transversales												
14	Junín entre Bolívar y Rocafuerte	Coop. de Buses Santa Rosa	Área comercial y de tránsito exteriores	Transporte vehicular	24 horas	68	70	110	-2	Deficiencia auditiva	24	√
15	Páez entre 25 de Junio y Rocafuerte	Parque Cultural Diego Minuche *	Exteriores de parques	Tránsito peatonal	24 horas	64	Se debe preservar la tranquilidad y se debe mantener baja la relación entre el ruido intruso y el sonido natural de fondo	-	-	Interrupción de la tranquilidad	-	-
16	Páez entre 25 de Junio y Sucre	Escuela Isabel La Católica	Salas de clase	Estudio	Día	64	35	-	29	Interferencia en la comunicación oral, disturbio en el análisis de información y comunicación del mensaje	Durante clases	x

17	Guayas entre 25 de Junio y Rocafuerte	Catedral de Machala **	Discursos públicos en interiores y exteriores	Iglesia	Día	60	85	110	-25	Deficiencia auditiva	1	√
					Noche	50	85	110	-35	Molestia grave en el día y al anochecer	1	√
18	Guayas entre 25 de Junio y Rocafuerte	Parque Central ***	Exteriores de parques	Tránsito peatonal	24 horas	62	Se debe preservar la tranquilidad y se debe mantener bala la relación entre el ruido intruso y el sonido natural de fondo	-	-	Interrupción de la tranquilidad	-	-
19	Guayas entre Bolívar y Pichincha	Banco del Pacífico	Área comercial y de tránsito interiores	Oficina	24 horas	68	70	110	-2	Deficiencia auditiva	24	√
20	Guayas entre Bolívar y Pichincha	Coop. de Transporte CIFA	Área comercial y de tránsito exteriores	Transporte vehicular	24 horas	64	70	110	-4	Deficiencia auditiva	24	√

Valores de referencia tomados de: (Organización Mundial de la Salud, 1999).

ANEXO II

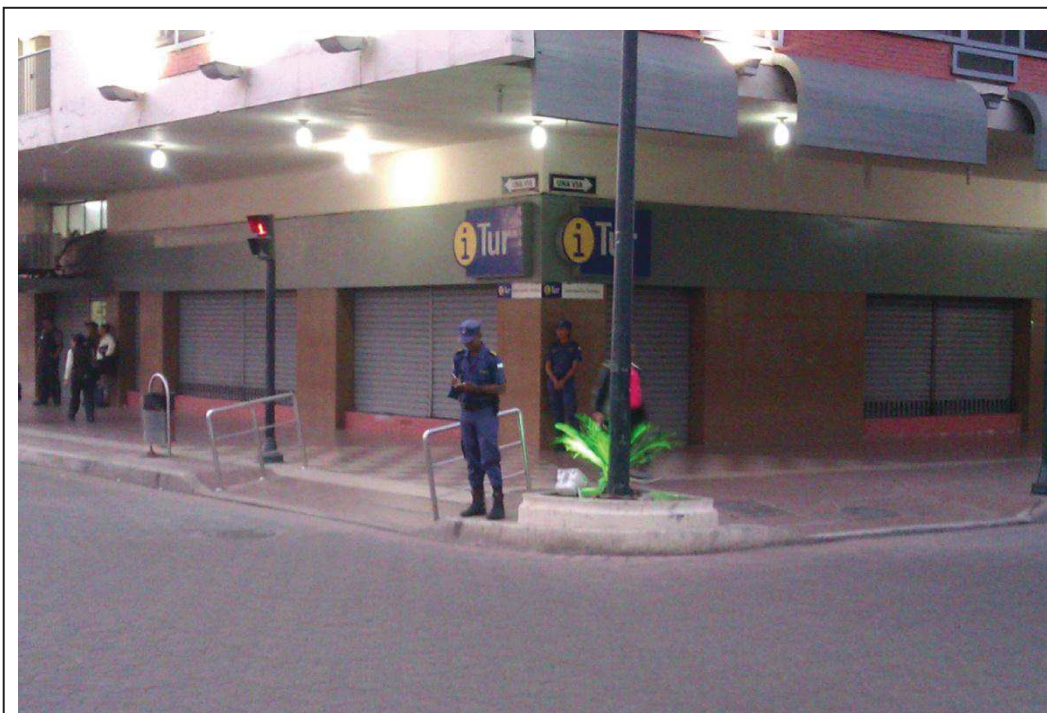


Figura 31. Policía Municipal de Machala realizando conteo vehicular

Tabla 20. Promedios de conteos vehiculares por direcciones – Avenidas Principales

Sucre entre 9 de Mayo y Guayas									
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Día	Livianos	345	321	326	325	340	310	275	320
	Pesados	78	75	78	77	81	70	69	75
Noche	Livianos	53	48	51	50	56	53	42	50
	Pesados	12	10	9	7	12	10	10	10
25 de Junio entre 9 de mayo y Guayas									
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Día	Livianos	830	752	780	815	850	925	650	800
	Pesados	51	45	50	46	53	20	12	40
Noche	Livianos	300	158	160	264	283	132	100	200
	Pesados	16	15	9	8	11	5	3	10

Rocafuerte entre Junín y Tarqui (Bco. GYE)									
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Día	Livianos	807	787	809	787	809	797	806	800
	Pesados	89	68	64	84	90	75	87	80
Noche	Livianos	123	109	118	111	114	91	106	110
	Pesados	13	11	7	11	13	13	4	10
Bolívar entre 9 de Mayo y Juan Montalvo									
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Día	Livianos	628	632	572	566	607	637	560	600
	Pesados	139	131	129	132	138	117	122	130
Noche	Livianos	122	117	118	119	129	125	110	120
	Pesados	18	15	14	15	16	12	12	15
Pichincha entre Ayacucho y Guayas									
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Día	Livianos	680	649	670	656	681	650	661	664
	Pesados	135	126	135	120	137	130	135	131
Noche	Livianos	120	110	124	121	127	125	111	120
	Pesados	20	16	17	21	23	20	20	20

Tabla 21. Promedios de conteos vehiculares por direcciones – Calles Transversales

Junín y Sucre									
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Día	Livianos	580	500	558	578	585	545	501	550
	Pesados	47	34	52	31	44	42	32	40
Noche	Livianos	45	40	32	39	46	33	46	40
	Pesados	8	4	2	7	8	4	4	5
Páez entre 25 de Junio y Sucre									
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Día	Livianos	67	56	61	65	70	57	45	60
	Pesados	24	18	24	16	25	16	18	20
Noche	Livianos	56	48	50	38	56	54	45	50
	Pesados	5	1	3	3	6	5	1	3

Juan Montalvo entre Rocafuerte y 25 de junio									
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Día	Livianos	309	316	292	291	314	288	290	300
	Pesados	25	14	25	20	26	15	15	20
Noche	Livianos	63	61	52	38	60	37	38	50
	Pesados	9	3	8	2	9	1	0	5
9 de Mayo entre Rocafuerte y Bolívar									
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Día	Livianos	357	349	346	340	346	373	337	350
	Pesados	25	23	19	17	24	16	13	20
Noche	Livianos	179	189	176	180	185	161	157	175
	Pesados	15	10	11	10	13	12	11	12
Guayas entre Bolívar y Pichicha (Bco. Pacífico)									
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Día	Livianos	364	331	346	339	370	358	342	350
	Pesados	54	43	55	49	54	50	47	50
Noche	Livianos	78	50	63	70	79	60	58	65
	Pesados	8	3	2	6	7	5	4	5
Ayacucho y Rocafuerte									
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Día	Livianos	663	628	666	626	675	672	618	650
	Pesados	105	95	85	93	101	75	77	90
Noche	Livianos	111	106	102	108	112	83	80	100
	Pesados	14	12	9	3	15	12	7	10
Santa Rosa									
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Día	Livianos	477	472	441	442	478	472	438	460
	Pesados	75	69	66	67	82	68	61	70
Noche	Livianos	119	93	101	91	108	109	79	100
	Pesados	21	18	14	12	23	10	10	15
Vela									
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Día	Livianos	520	514	509	510	531	465	452	500
	Pesados	109	61	79	78	85	83	70	81
Noche	Livianos	90	81	76	72	91	78	70	80
	Pesados	16	11	10	4	12	6	8	10

Tabla 22. Promedios de velocidades de vehículos por direcciones – Avenidas Principales

Sucre entre 9 de Mayo y Guayas								
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Velocidades L	26	28	25	24	33	34	40	30
Velocidades P	22	26	24	22	34	36	43	30
25 de Junio entre 9 de mayo y Guayas								
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Velocidades L	35	38	35	41	43	32	55	40
Velocidades P	33	36	34	38	40	36	60	40
Rocafuerte entre Junín y Tarqui (Bco. GYE)								
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Velocidades L	34	43	37	39	41	42	42	40
Velocidades P	44	43	40	40	35	36	39	40
Bolívar entre 9 de Mayo y Juan Montalvo								
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Velocidades L	39	35	42	48	36	35	47	40
Velocidades P	45	45	36	40	38	39	39	40
Pichincha entre Ayacucho y Guayas								
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Velocidades L	47	43	45	48	38	48	49	45
Velocidades P	38	39	45	38	42	37	42	40

Tabla 23. Promedios de velocidades de vehículos por direcciones – Calles Transversales

Junín y Sucre								
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Velocidades L	46	33	39	33	39	46	47	40
Velocidades P	41	37	47	38	39	44	35	40
Páez entre 25 de Junio y Sucre								
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Velocidades L	21	42	44	43	27	22	43	35
Velocidades P	40	40	35	26	31	34	41	35

Juan Montalvo entre Rocafuerte y 25 de junio								
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Velocidades L	37	33	31	35	31	36	42	35
Velocidades P	39	33	35	37	32	37	35	35

9 de Mayo entre Rocafuerte y Bolivar								
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Velocidades L	30	32	30	41	33	37	41	35
Velocidades P	36	34	33	38	38	34	35	35

Guayas entre Bolivar y Pichicha (Bco. Pacífico)								
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Velocidades L	33	25	35	49	26	36	39	35
Velocidades P	43	38	39	45	28	26	25	35

Ayacucho y Rocafuerte								
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Velocidades L	45	57	38	32	37	25	48	40
Velocidades P	47	41	37	47	46	33	31	40

Santa Rosa								
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Velocidades L	41	47	47	34	34	33	46	40
Velocidades P	37	36	47	48	41	36	36	40

Vela								
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Velocidades L	43	35	43	47	49	55	43	45
Velocidades P	40	47	41	50	50	42	44	45

ANEXO III

Tabla 24. Entrada aparcamiento documentación de datos.

Machala DokumentationEingabedaten Parkplätze - SEMANA MACHALA					
Parking lot	Number	Movings day car/h	Movings night car/h	Lw day dB(A)	Lw night dB(A)
1	12	0,25	0	67,8	48,6
2	5	0,5	0,01	67	50
3	12	0,4	0,01	69,8	50,8
4	14	0,2	0	67,5	47,5
COOP. BUSES INTERCANTONAL	2	0,4	0,01	72	55,5
5	10	0,2	0	66	46
6	12	0,2	0,01	66,8	52,8
7	9	0,01	0	63,5	
8	12	0,1	0	63,8	48,6
CIFA	4	0,25	0	73	53,8
9	4	0,5	0,08	66	58
10	16	0,1	0	64,8	49,8
11	12	0,35	0	69,2	49,8
12	2	0,5	0,2	63	59
13	12	0,1	0	63,8	48,6
14	6	0,4	0,01	66,8	47,8
15	20	0,1	0	66	49
16	16	0,1	0	65	48
17	10	0,18	0	65,6	43
18	6	0,3	0,01	65,6	48,6
19	12	0,16	0	65,8	48,6
20	8	0,06	0	59,7	46,8
21	7	0,2	0,01	64,5	51,5
22	8	1	0,02	72	55
23	8	0,2	0,01	65	49
Universidad de las Américas ECUADOR					

ANEXO IV

Fotografías de la zona de estudio.

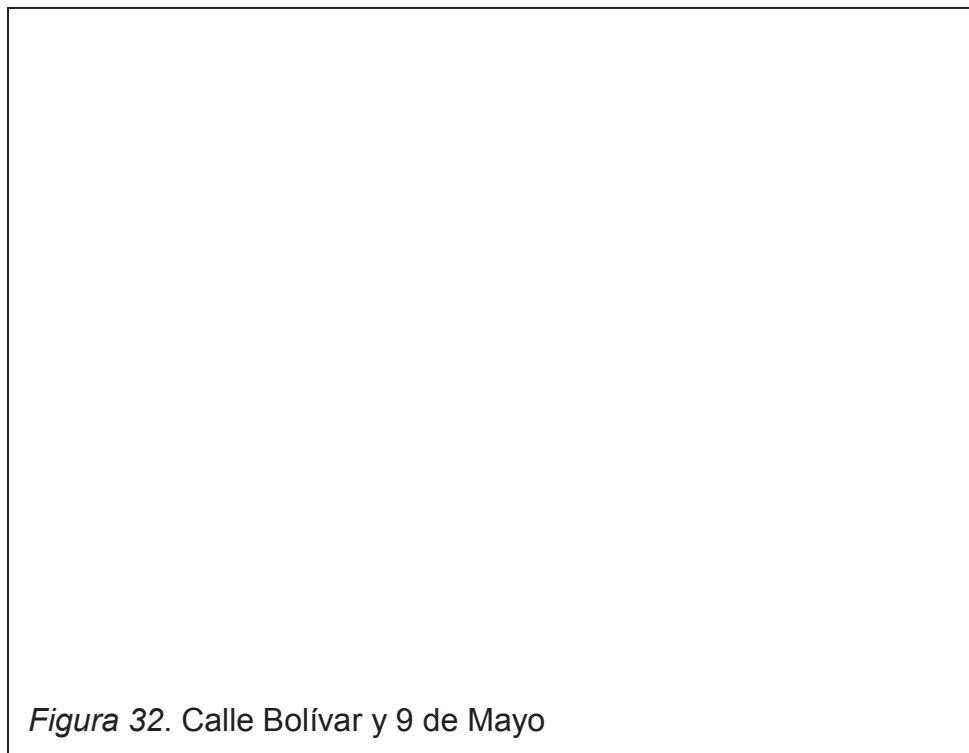


Figura 32. Calle Bolívar y 9 de Mayo

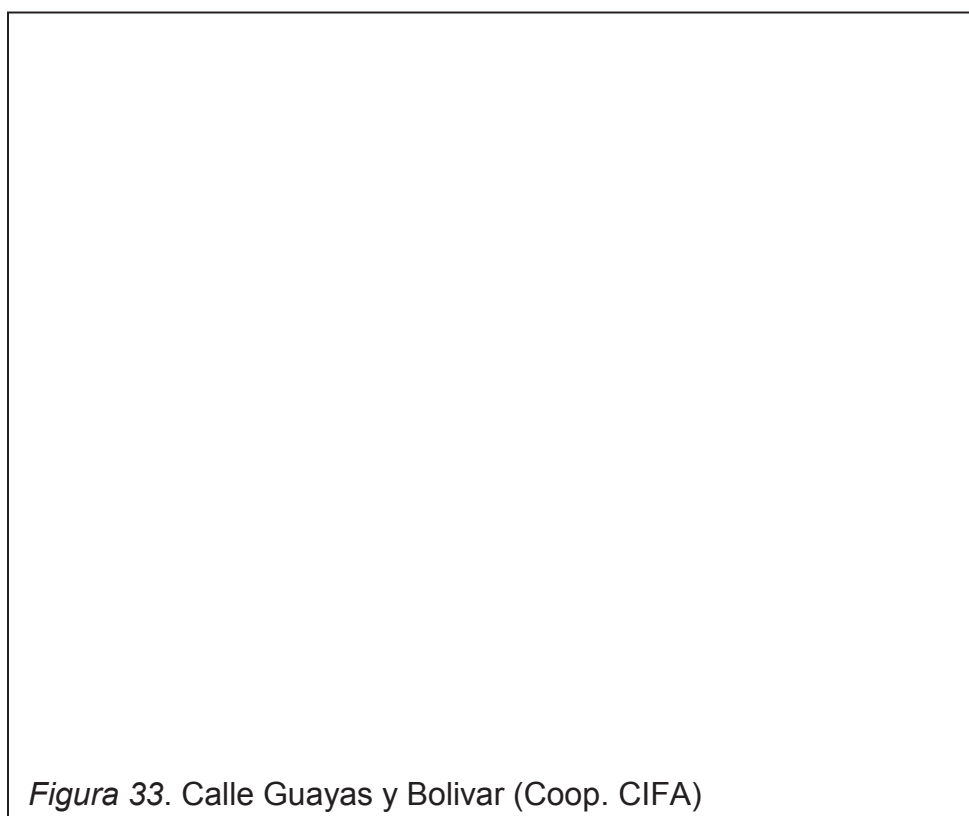
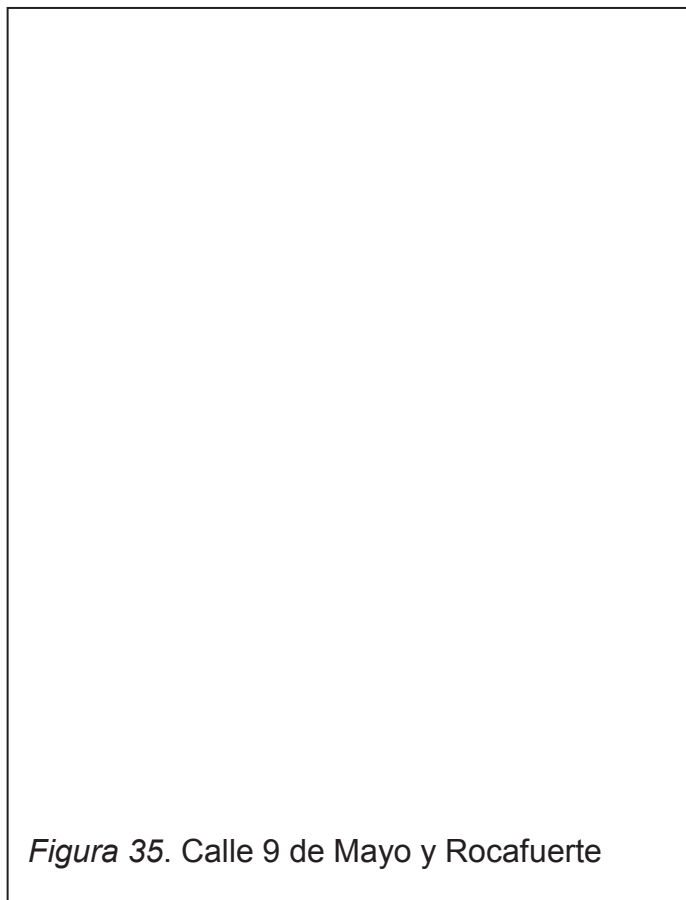


Figura 33. Calle Guayas y Bolivar (Coop. CIFA)



Selección de la normativa a utilizarse y de información referente a las fuentes de ruido.												-
Revisión y procesamiento de información												
Levantamiento de información (Conteos de vehículos y medición de velocidades)												1000
Mediciones acústicas												700
Generación de Mapas de Ruido												-
Análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones												-
Redacción												-
Impresiones físicas de tesis												200
Entrega de borrador final												-
TOTAL												\$ 3.500

ANEXO VI

Documento de entrega de mapas de ruido al GAD Municipal de Machala



**GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO
MUNICIPAL DE MACHALA**
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL
INSTRUMENTO DE CALIDAD AMBIENTAL

Machala, 2 de septiembre de 2014

Bióloga
Carolina Beltrón Tejena
DIRECTORA DE GESTIÓN AMBIENTAL
Ciudad

Presente;

Mediante el siguiente documento, se realiza la entrega de los Mapas de Ruido del Centro Urbano Regenerado del Cantón Machala, estudio que se ha venido realizando en cooperación con la Universidad de Las Américas quienes han brindado asesoría técnica en el proceso de diseño del modelo predictivo.

Anexo:

- Mapas en formato digital
- Mapas Impresos

Atentamente,

GOBIERNO MUNICIPAL DE MACHALA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL
REGISTRADO EN EL
REGLAMENTO DE LA
FECHA: 02/09/2014
HORA: 16:00
FIRMA: *CP*


Juan Carlos Gonzaga Aguilar
 INSPECTOR DE CALIDAD AMBIENTAL




machala
Falquez ALCALDE
www.machala.gob.ec



más árboles... más vida!!

ANEXO VII

Certificados de calibración de los sonómetros PCE-322A propiedad del GAD
Municipal de Machala



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificate of calibration

Calibración N° TS11/9177

Calibration N°

Página 1 de 2 páginas

N° Anexos 2

Page 1 of 2 pages

Tecnologías Servincal S.L.L.

LABORATORIO DE METROLOGÍA Y CALIBRACIÓN

C/Kripton 19 A - 47012 Valladolid

Tfno: 983 218 214 Fax: 983 219 015

servincal@servincal.com

www.servincal.com



OBJETO: SONÓMETRO
Item

MARCA: PCE GROUP
Mark

MODELO: PCE-322 a
Model

IDENTIFICACIÓN: 11049850
Identification

SOLICITANTE: PATHPROFIT, S.A.
Applicant

AV. 27 FEBRERO
010166 CUENCA,

FECHA/S CALIBRACIÓN: 19/10/2011
Date/s of calibration

N° DE EXPEDIENTE:14018
Expedient number

Signatario autorizado
Authorized signatory

Fecha de emisión
Date of issue

Firmado por: MANUEL PALAZUELOS,
JOSE ANTONIO (AUTENTICACIÓN)
Fecha y hora: 21.10.2011 12:58:37

20 de octubre de 2011

José A. Manuel Palazuelos
Director Técnico

Este certificado se expide de acuerdo con las condiciones recogidas en la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2005.
Este documento garantiza la trazabilidad a patrones nacionales e internacionales de los instrumentos utilizados en el laboratorio para las calibraciones, así como la precisión metodológica de los procedimientos y las capacidades de medida del laboratorio.
Este certificado NO podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

*This certificate is issued in accordance with the UNE-EN ISO/IEC 17025:2005.
This document assures traceability to national and international standards for instruments used in calibration laboratory, as well as methodological precision in procedures and the measurement capability of the laboratory.
This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.*



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificate of calibration

Calibración N° TS11/9177

Calibration N°

Página 2 de 2 páginas

Page 2 of 2 pages



DATOS EQUIPO A CALIBRAR

INSTRUMENTO: SONÓMETRO
MARCA/MODELO: PCE GROUP PCE-322 A
IDENTIFICACIÓN: 11049850
ALCANCE: 30 - 130 dB
RESOLUCIÓN: 0,1 dB
SOLICITANTE: PATHPROFIT, S.A.
FECHA RECEPCIÓN: 17/10/2011 **FECHA CALIBRACIÓN:** 19/10/2011

DATOS DE LA CALIBRACIÓN

INSTRUMENTOS PATRÓN :	N° SERIE	N° CERTIFICADO
CALIBRADOR ACÚSTICO	036757	08/34505664
TERMOHIGRÓMETRO	05900279	LTH-07114-1_1

PROCEDIMIENTO: TS-PC-07-28

PROCESO DE MEDIDA:

Los valores medidos se han obtenido por comparación del sonómetro calibrado con un calibrador acústico de referencia. El procedimiento ha sido el de realizar cinco medidas situando el calibrador acústico a 94 dB. En la tabla siguiente aparecen la media de las medidas tomadas, la corrección a efectuar en dB, y la incertidumbre asignada al equipo de medida (U) en dB.

TRAZABILIDAD:

La trazabilidad de las medidas efectuadas se refiere a nuestros patrones de referencia calibrados periódicamente en laboratorios nacionales o internacionales, acreditados o reconocidos por ENAC, o a través de laboratorios participantes en intercomparaciones del BIPM.

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

Frecuencia (Hz)	Nivel de referencia (dB)	Lectura media (dB)	Desviación (dB)	Incertidumbre expandida (dB)
1000,0	94,0	94,0	0,0	± 0,15

CONDICIONES AMBIENTALES:

TEMPERATURA (°C): 20 ± 1

HUMEDAD RELATIVA (%): < 60

LUGAR DE CALIBRACIÓN: Laboratorio ServincaL

Fecha de emisión 20 de octubre de 2011

Número de expediente: 14018

Los resultados contenidos en el presente Certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Este Certificado expresa fielmente el resultado de las medidas realizadas. TECNOLOGÍAS SERVINCA L no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse de un uso inadecuado de los instrumentos calibrados.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificate of calibration

Calibración N° TS11/9176

Calibration N°

Página 1 de 2 páginas

N° Anexos 2

Page 1 of 2 pages

Tecnologías Servincal S.L.L.

LABORATORIO DE METROLOGÍA Y CALIBRACIÓN

C/Krypton 19 A - 47012 Valladolid

Tfno: 983 218 214 Fax: 983 219 015

servincal@servincal.com

www.servincal.com



OBJETO: SONÓMETRO
Item

MARCA: PCE GROUP
Mark

MODELO: PCE-322 a
Model

IDENTIFICACIÓN: 11049770
Identification

SOLICITANTE: PATHPROFIT, S.A.
Applicant
AV. 27 FEBRERO
010166 CUENCA,

FECHA/S CALIBRACIÓN: 19/10/2011
Date/s of calibration

N° DE EXPEDIENTE: 14017
Expedient number

Signatario autorizado
Authorized signatory

Fecha de emisión
Date of issue

Firmado por: MANUEL PALAZUELOS,
JOSE ANTONIO (AUTENTICACIÓN)
Fecha y hora: 21.10.2011 12:58:36

20 de octubre de 2011

José A. Manuel Palazuelos
Director Técnico

Este certificado se expide de acuerdo con las condiciones recogidas en la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2005.
Este documento garantiza la trazabilidad a patrones nacionales e internacionales de los instrumentos utilizados en el laboratorio para las calibraciones, así como la precisión metodológica de los procedimientos y las capacidades de medida del laboratorio.
Este certificado NO podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

*This certificate is issued in accordance with the UNE-EN ISO/IEC 17025:2005.
This document assures traceability to national and international standards for instruments used in calibration laboratory, as well as methodological precision in procedures and the measurement capability of the laboratory.
This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.*



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificate of calibration

Calibración N° TS11/9176

Calibration N°

Página 2 de 2 páginas

Page 2 of 2 pages



DATOS EQUIPO A CALIBRAR

INSTRUMENTO: SONÓMETRO
MARCA/MODELO: PCE GROUP PCE-322 A
IDENTIFICACIÓN: 11049770
ALCANCE: 30 - 130 dB
RESOLUCIÓN: 0,1 dB
SOLICITANTE: PATHPROFIT, S.A.
FECHA RECEPCIÓN: 17/10/2011 **FECHA CALIBRACIÓN:** 19/10/2011

DATOS DE LA CALIBRACIÓN

INSTRUMENTOS PATRÓN :	N° SERIE	N° CERTIFICADO
CALIBRADOR ACÚSTICO	036757	08/34505664
TERMOHIGRÓMETRO	05900279	LTH-07114-1_1

PROCEDIMIENTO: TS-PC-07-28

PROCESO DE MEDIDA:

Los valores medidos se han obtenido por comparación del sonómetro calibrado con un calibrador acústico de referencia. El procedimiento ha sido el de realizar cinco medidas situando el calibrador acústico a 94 dB. En la tabla siguiente aparecen la media de las medidas tomadas, la corrección a efectuar en dB, y la incertidumbre asignada al equipo de medida (U) en dB.

TRAZABILIDAD:

La trazabilidad de las medidas efectuadas se refiere a nuestros patrones de referencia calibrados periódicamente en laboratorios nacionales o internacionales, acreditados o reconocidos por ENAC, o a través de laboratorios participantes en intercomparaciones del BIPM.

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

Frecuencia (Hz)	Nivel de referencia (dB)	Lectura media (dB)	Desviación (dB)	Incertidumbre expandida (dB)
1000,0	94,0	94,0	0,0	± 0,15

CONDICIONES AMBIENTALES:

TEMPERATURA (°C): 20 ± 1

HUMEDAD RELATIVA (%): < 60

LUGAR DE CALIBRACIÓN: Laboratorio Servincal

Fecha de emisión

20 de octubre de 2011

Número de expediente: 14017

Los resultados contenidos en el presente Certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Este Certificado expresa fielmente el resultado de las medidas realizadas. TECNOLOGÍAS SERVINCAL no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse de un uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

INDICE

Introducción	1
Antecedentes.....	2
Alcance.....	3
Justificación	3
Objetivo General.....	4
Objetivos específicos.....	4
1. Capítulo I: Fundamentos teóricos.....	5
1.1. Parámetros Físicos del Sonido.....	5
1.1.1. Sonido.....	5
1.1.2. Frecuencia	5
1.1.3. Amplitud.....	6
1.1.4. Velocidad de propagación del sonido	7
1.1.5. Periodo	8
1.1.6. Longitud de onda	8
1.2. Medida de presión sonora	9
1.2.1. Nivel de presión sonora	9
1.2.2. Nivel de Intensidad Sonora.....	10
1.2.3. Nivel de Potencia Acústica	11
1.3. Curvas isofónicas	11
1.4. Curvas de ponderación	13
1.5. Indicadores para evaluación de ruido ambiental	14
1.5.1. Nivel continuo equivalente (Leq).....	14
1.5.2. Nivel Sonoro Equivalente DÍA - NOCHE (LDN)	14
1.5.3. Nivel máximo de presión sonora (Lmax).....	15
1.5.4. Nivel mínimo de presión sonora (Lmin)	15
1.5.5. Percentiles (L10, L50, L90).....	15
1.5.6. Índice de ruido de tráfico.....	16
1.5.7. Ruido	16
1.5.8. Tipos de ruido	16
1.5.9. Fuentes de ruido	18

1.5.10. Ruido de Tráfico.....	21
1.5.10.1. Consideraciones a tomar para determinar los niveles de ruido del tráfico rodado.....	22
1.5.11. Normativas nacionales e internacionales para control de emisiones acústicas.....	25
1.5.11.1. Niveles máximos de ruido permisibles.....	25
1.6. Impacto acústico	28
1.6.1. Reducción del impacto acústico	29
1.7. Mediciones Acústicas	29
1.7.1. Instrumentos de mediciones Acústicas.....	29
1.7.1.1. Sonómetro	30
1.8. Modelación acústica	32
1.8.1. Modelamiento acústico con SoundPLAN 6.3.....	34
1.8.1.1. Principios de procesamiento de SoundPLAN	34
1.8.1.2. Generación de mapas sonoros.....	35
1.8.1.3. Propiedades de los tipos de cálculo de SoundPLAN 6.3.....	37
1.8.2. Desarrollo del modelamiento acústico y mapas de ruido.....	38
1.8.2.1. Norma RLS-90 (Richtlinien für den Lärmschutz an Straben).....	39
2. Capítulo II: Metodología	43
2.1. Determinación de la zona de estudio	43
2.2. Recopilación de la información primaria y secundaria existente	45
2.3. Levantamiento de la información que no esté disponible	45
2.4. Selección de los puntos para el muestreo y medición de los niveles sonoros	46
2.4.1. Obtención de información	47
2.4.1.1. Creación del Geofile	47
2.4.2. Mediciones in-situ	52
2.4.2.1. Sonómetro data logger PCE-322A	53
2.4.2.2. Calibrador acústico PCE-SC41	54
2.4.3. Metodología de medición.....	54
3. Capítulo III. Resultados y Análisis	55
3.1. Resultados de las mediciones.....	55

3.1.1. Modelo de la zona de estudio	57
3.2. Resultados entregados por el software	59
3.2.1. Cálculos realizados por SoundPLAN 6.3	59
3.3. Análisis de Resultados sobre cálculos de SoundPlan	62
3.4. Mapas de Ruido	63
3.4.1. Validación de los mapas de ruido	70
4. Capítulo IV. Evaluación de mapas de ruido.....	72
4.1. Guías para el ruido urbano.....	72
4.1.1. Valores de referencia para el ruido urbano según la actividad	72
4.2. Evaluación general de los mapas de ruido.....	74
4.3. Evaluación en función de la población habitante en la zona de estudio..	75
4.4. Diagnóstico de la situación actual del sector en función de normas internacionales	76
5. Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones	80
5.1. Conclusiones.....	80
5.2. Recomendaciones.....	81
REFERENCIAS	83
ANEXOS	86