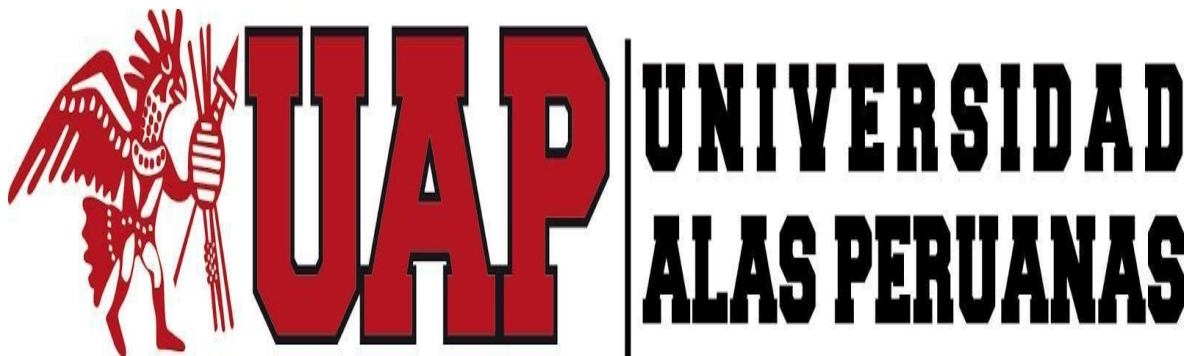


**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

MODELAMIENTO DEL RUIDO AMBIENTAL PRODUCIDO POR FUENTES  
MÓVILES COMPARADO CON EL MÉTODO CoRTN (CALCULATION OF ROAD  
TRAFFIC NOISE) EN ZONAS CRÍTICAS DEL CENTRO HISTÓRICO DE  
AREQUIPA, 2015

PRESENTADO POR LA BACHILLER  
RUBI STEFANY MENGUA FLORES  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERA AMBIENTAL

AREQUIPA – PERÚ

2017

A Dios por mostrarme día a día que con humildad, paciencia y sabiduría todo es posible. A mis padres Roger y Sandra, por la motivación constante y comprensión incondicional a lo largo de mi vida estudiantil que me ha permitido ser una persona de bien; a ellos que siempre tuvieron una palabra de aliento en los momentos difíciles que han sido y son incentivos en mi vida.

Agradezco a los profesores que me guiaron y brindaron su apoyo en este trabajo, también a mis hermanos y amigos por acompañarme en esta investigación.

## RESUMEN

La adquisición de vehículos en la ciudad de Arequipa va aumentando en los últimos años, la mayoría de vehículos transitan por las vías del Centro Histórico y no está diseñado para soportar alto flujo vehicular el cual genera ruido.

Esta investigación comprende diferentes etapas que inicia desde la recopilación hasta el procesamiento de los datos obtenidos en campo; correlaciones y análisis de los resultados que permiten integrar todas las variables, así obtener el modelo matemático para el ruido del tráfico rodado.

Se realizaron mediciones de ruido y conteo vehicular en 10 zonas críticas del Centro Histórico de Arequipa, creando una base de datos para que puedan ser aplicados en el método CoRTN y la realización del modelo matemático para el ruido ambiental producido por fuentes móviles.

De esta manera, se puede concluir que el modelo obtenido ayuda a predecir el ruido producido por el tráfico rodado en el Centro Histórico de Arequipa; identificando zonas críticas mediante mapas estratégicos de ruido los cuales muestran la situación acústica y la predicción para el año 2025.

**Palabras clave:** flujo vehicular, correlaciones, modelo matemático, mapa estratégico.

## **ABSTRACT**

The acquisition of vehicles in the city of Arequipa is increasing in recent years, most vehicles transit through the Historic Downtown tracks and is not designed to withstand high traffic flow which generates noise.

This research comprises different stages that starts from the collection to the processing of the data obtained in the field, correlations and analysis of the results that allow to integrate all the variables and thus obtain the mathematical model for traffic noise.

Measurements of noise and vehicle counts were carried out in 10 critical areas of the Historical Center of Arequipa, creating a database for them to be applied in the CoRTN method and the mathematical model for environmental noise produced by mobile sources.

In this way it can be concluded that the model obtained helps to predict the noise produced by road traffic in the Historic Center of Arequipa identifying critical areas using strategic noise maps which show the acoustic situation and the prediction for the year 2025.

**Key words:** vehicular flow, correlations, mathematical model, strategic map.

## INTRODUCCIÓN

El paulatino crecimiento demográfico de las ciudades implica el incremento de la actividad humana en general y, a la vez, el incremento de la actividad económica. Esto, en consecuencia, ocasiona mayor incidencia de problemas ambientales.

Nuestra ciudad de Arequipa no es ajena en absoluto a este tipo de crecimiento, situación que ha generado la presencia de más vehículos en el sector de transporte, además de una mayor capacidad adquisitiva de la población, la cual adquiere vehículos de transporte privado, cada vez con mayor facilidad y frecuencia.

La mayor parte de las actividades aún las seguimos realizando en el Centro Histórico, provocando una sobresaturación en el desplazamiento vehicular, lo que ha traído como consecuencia que cuatro vías sean acogedoras de la carga del tráfico vehicular. Las vías son las avenidas: Mariscal Castilla cuyo flujo vehicular proviene del cono este; Alcides Carrión que circulan carros provenientes del sur este; Parra donde ingresan y salen carros del sector sur y, finalmente, Ejército que tiene mayor sobrecarga de la población del Cono Norte.

Los reclamos sobre este tema también están en crecimiento, sin embargo, no existe en el Perú una ley que permita controlar este tipo de contaminación; por tanto, prevenir sus efectos sobre la salud a largo plazo. El interés al respecto no ha corrido mucha mejor suerte.

La oportuna creación de un modelo matemático que estime el nivel de presión sonora en dB A producido por el rodaje de vehículos en un determinado punto permitirá predecir el ruido en los próximos años y con una buena gestión, implementar un sistema integral y sostenible.

Incorporar el conocimiento acústico en la planificación de nuestra ciudad ayudará a construir una ciudad más amable, confortable y menos contaminada. El trabajo presenta los siguientes capítulos:

En el Capítulo I, se presenta la descripción de la realidad problemática, las delimitaciones, problemas, objetivos, hipótesis, metodología, además de la justificación e importancia de la investigación.

En el Capítulo II, encontrará aspectos teóricos relacionados a los antecedentes de la investigación internacional, nacional y local; además de los modelos de predicción de ruido de tráfico rodado utilizados, donde se fundamenta el por qué la utilización del método CoRTN que viene a ser el modelo con menor error comparado con otros modelos determinado así en un trabajo de investigación.

En el Capítulo III, se aborda la presentación, análisis e interpretación de los resultados donde se realizó el modelo matemático de ruido ambiental producido por fuentes móviles comparado con el método CoRTN y con ayuda de este modelo se identifica el nivel sonoro mediante mapas estratégicos

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>V</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>VI</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>XI</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>XII</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>2</b>
1.2.1. Delimitación espacial.....	2
1.2.2. Delimitación social.....	2
1.2.3. Delimitación temporal.....	2
1.2.4. Delimitación conceptual.....	2
<b>1.3 PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>2</b>
1.3.1. Problema principal.....	2
1.3.2. Problemas secundarios .....	3
<b>1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>3</b>
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos .....	3
<b>1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>3</b>
1.5.1. Hipótesis general.....	3
1.5.2. Hipótesis secundarias.....	3
1.5.3. Variables .....	4
<b>1.6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>4</b>
1.6.1 Tipo y nivel de la investigación.....	4
1.6.2. Método y diseño de la investigación .....	5
a) Método de la investigación .....	5
b) Diseño de la Investigación .....	6
1.6.3. Población y muestra de la investigación .....	7
a) Población.. .....	7
b) Muestra.....	7
1.6.4. Técnicas e instrumento de recolección de datos .....	7
<b>1.7. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>8</b>
1.7.1. Justificación.....	8
1.7.2. Importancia.....	8
1.7.3 Limitaciones.....	9



<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>10</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2. BASES TEÓRICAS</b> .....	<b>14</b>
2.2.1 Medidas descriptivas .....	16
2.2.2. Modelos de predicción de ruido de tráfico rodado .....	17
2.2.2.1. Modelo Alemán RLS-90 .....	18
2.2.2.2. Modelo Escandinavo Statens Planverk 48 .....	18
2.2.2.3. Modelo Francés NMPB-Routes-96 .....	19
2.2.2.4. Modelo matemático CoRTN (Calculation of Road Traffic Noise) .....	19
2.2.3 Conteo vehicular .....	22
2.2.4 Regresión Lineal .....	23
2.2.5. Linealización de una función no lineal .....	23
2.2.6. Mapa de ruido estratégico .....	24
2.2.6.1 Metodología geo estadística .....	24
2.2.7. Programador en Excel-Macro .....	27
<b>2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS</b> .....	<b>28</b>
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>29</b>
<b>PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
3.1.1 Zona de estudio .....	29
3.1.2. Datos meteorológicos .....	34
3.1.3 Densidad vehicular .....	34
3.1.4. Determinación de tendencias .....	36
3.1.4. Aplicación del método CoRTN y comparación con los niveles sonoros monitoreados .....	39
3.1.5. Determinación de la constante Arequipeña .....	40
3.1.6. Segregación de datos por estación diferenciados por turnos: mañana, tarde y noche .....	41
3.1.7. Tratamiento estadístico de validación de datos .....	44
3.1.8 Tratamiento estadístico: Regresión lineal .....	45
3.1.9. Linealización de una función no lineal .....	46
3.1.10. Mapa de ruido .....	48
3.1.11. Software de predicción .....	49
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>54</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>58</b>

## Índice de figuras

Figura 1. Diseño de la investigación .....	7
Figura 2. Porcentaje de emisiones de ruido en el Centro Histórico de Arequipa .....	14
Figura 3. Análisis estructural en Arcgis .....	29
Figura 4. Selección de predicción de método Kriging.....	30
Figura 5. Proceso para la elaboración de mapas de ruido .....	31
Figura 6. Zonas monitoreadas .....	36
Figura 7. Plano de zonificación por áreas de tratamiento.....	37
Figura 8. Tráfico mixtos por zona.....	39
Figura 9. Tendencia lineal.....	40
Figura 10. Tendencia exponencial .....	41
Figura 11. Tendencia logarítmica.....	41
Figura 12. Comparación Nivel CoRTN-Monitoreado turno mañana .....	46
Figura 13. Comparación Nivel CoRTN-Monitoreado turno tarde .....	47
Figura 14. Comparación Nivel CoRTN-Monitoreado turno noche .....	48
Figura 15. Hoja Macro utilizada nivel sonoro por hora .....	54
Figura 16. Hoja Macro utilizada nivel sonoro por año.....	55

## Índice de tablas

Tabla 1. Datos de referencia.....	15
Tabla 2. Datos de la estación Ejército.....	33
Tabla 3. Datos de la estación Paucarpata.....	34
Tabla 4. Datos de la estación Independencia .....	34
Tabla 5. Datos de la estación Goyeneche.....	34
Tabla 6. Datos de la estación Salaverry.....	34
Tabla 7. Datos de la estación Deán Valdivia .....	35
Tabla 8. Datos de la estación Jerusalén .....	35
Tabla 9. Datos de la estación Peral .....	35
Tabla 10. Datos de la estación Palacio Viejo .....	35
Tabla 11. Datos de la estación Ayacucho .....	36
Tabla 12. Zonificación de cada zona de medición.....	38
Tabla 13. Conteo vehicular en zonas de estudio.....	39
Tabla 14. Coeficientes de correlación .....	42
Tabla 15. Comparación entre nivel monitoreado y método aplicado .....	43
Tabla 16. Comparación entre nivel monitoreado y método aplicado .....	44
Tabla 17. Resultados de la Aplicación del Método CoRTN (mañana).....	45
Tabla 18. Resultados de la Aplicación del Método CoRTN (tarde).....	46
Tabla 19. Resultados de la Aplicación del Método CoRTN (noche) .....	47
Tabla 20. Resultados de validación de datos.....	49
Tabla 21. Coeficientes de correlación de Pearson para cada estación .....	50
Tabla 22. Linelización .....	51
Tabla 23. Error porcentual para cada.....	52
Tabla 24. Predicción .....	53

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

La ciudad de Arequipa ha ido creciendo de manera progresiva en los últimos años y esto genera el crecimiento de actividades económicas, construcción de nuevos establecimientos comerciales y el crecimiento del parque automotor público como privado aumento de compra de vehículos tanto público como particular; según informó a Rpp el Jefe Zonal registral N°12 Sede Arequipa, Nico Pérez Riveros que en el 2015 en la región Arequipa circulan por las calles aproximadamente 259889 vehículos particulares de transporte urbano, taxi, interprovincial, motos entre otros.

La ciudad de Arequipa ha ido creciendo hacia el norte, esto obliga a cruzar el río mediante puentes muy antiguos: Bolognesi, Grau y bajo Grau, San Martín lo que conlleva a atravesar calles que no han sido diseñadas para la carga vehicular que afronta en estos últimos años; en consecuencia, el tráfico vehicular es uno de los principales factores de deterioro ambiental progresivo.

Según el jefe del Área de Ecología, Protección del Ambiente y Salud Ocupacional de la Gerencia de Salud (GERSA), debido al incremento del parque automotor, la población presenta males como estrés, dolores de estómago y oído (hipoacusia); así como problemas cardíacos. Madariaga sostuvo que el 60% de ruidos molestos en la ciudad es provocado por vehículos (transporte público, privado y carga), el restante es causado por locales de venta de música, discotecas, entre otros. También reveló que, según un estudio realizado por Salud, el 6% de personas que trabajan en centros comerciales

tiene problemas de sordera, causada por los elevados ruidos en zonas comerciales (La República , 2013).

Lo mencionado origina efectos auditivos que afecta la calidad de vida que afecta a las personas que trabajan y transitan por las calles del Centro Histórico, incumpléndose un derecho del que gozamos como es el vivir en un ambiente sano y equilibrado. En la provincia de Arequipa, existe una ordenanza municipal que dicta normas sobre ruidos molestos y nocivos OM-269-2004-MPA, que de acuerdo a investigaciones realizadas en denuncias de contaminación en Arequipa, el 41% corresponde a ruido, 24%, a humos y gases, 14%, a agua, 12%, a domésticos; y otros, 9%.

La misión de la investigación es realizar un modelamiento matemático del ruido producido por el tráfico vehicular que a través del modelamiento se pueda determinar la situación acústica en los siguientes años, de esta manera despertar el interés político y ciudadano en el desarrollo de políticas que puedan controlar y mejorar la gestión ambiental.

## **1.2 DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

- 1.2.1. Delimitación espacial.** Esta investigación comprende en la Región Arequipa, Provincia de Arequipa, distrito de Arequipa, Centro Histórico.
- 1.2.2. Delimitación social.** Se realizó en diez zonas críticas con alto flujo vehicular de tipo de transporte público y privado.
- 1.2.3. Delimitación temporal.** Esta investigación implicó los meses de julio a diciembre de 2015.
- 1.2.4. Delimitación conceptual.** Esta investigación abarca dos conceptos fundamentales como es el ruido producido por el tráfico vehicular y el desarrollo de modelamiento matemático para la predicción de ruido en el Centro Histórico de Arequipa.

## **1.3 PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Problema principal**

¿Cómo estimar el nivel de ruido empleando el método CoRTN en zonas críticas del Centro Histórico de Arequipa, 2015?

### **1.3.2. Problemas secundarios**

**P1** ¿Cuánto es el error del Método CoRTN y del modelo matemático?

**P2** ¿Cuál es la relación del ruido y el tráfico rodado mediante linealización en zonas críticas del Centro Histórico de Arequipa?

**P3** ¿Cómo afecta el ruido producido por fuentes móviles en zonas críticas del Centro Histórico de Arequipa?

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Objetivo general**

Estimar el nivel de ruido ambiental producido por fuentes móviles mediante el método CoRTN en zonas críticas del Centro Histórico de Arequipa, 2015.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- ✓ Identificar el error entre el método CoRTN y el modelo matemático en el Centro Histórico de Arequipa, 2015.
- ✓ Establecer la relación entre el tráfico rodado y el ruido ambiental mediante la linealización en zonas críticas del Centro Histórico de Arequipa, 2015.
- ✓ Identificar el efecto del ruido producido por fuentes móviles con el modelo matemático en el Centro Histórico de Arequipa, 2015, con proyección al 2025.

## **1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Hipótesis general**

Es probable que el modelamiento del ruido ambiental producido por fuentes móviles en el Centro Histórico de Arequipa, 2015, sea menor el error comparado con el método CoRTN

### **1.5.2. Hipótesis secundarias**

- ✓ Es probable que el error del método CoRTN sea mayor que el error del modelo matemático obtenido en el Centro Histórico de Arequipa, 2015.
- ✓ Dada las mediciones permitirán establecer la correlación que sea alta entre ruido y tráfico rodado mediante linealización en zonas críticas del Centro Histórico de Arequipa, 2015.
- ✓ Es probable que el efecto de ruido ambiental sea alto al modelar el ruido producido por fuentes móviles en el Centro Histórico de Arequipa, 2015, proyectando al año 2025.

### **1.5.3. Variables**

#### **Variable Independiente**

Flujo vehicular (también llamado tráfico vehicular, o simplemente tráfico) es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Antes de cualquier diseño geométrico de una vía, se deben conocer las características del tránsito que va a ocupar esa carretera o calle (Arrieta H., S.f).

#### **Variable dependiente**

Nivel de Presión Sonora (NPS): es el nivel de presión sonora constante, expresado en decibeles A, que en el mismo intervalo de tiempo T, contiene la misma energía total que el sonido medido (DS N<sup>o</sup>085-PCM-2003).

## **1.6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1 Tipo y nivel de la investigación**

#### **a) Tipo de Investigación**

La investigación puede ser de varios tipos, sin embargo, es común hacerlo en función a su nivel, diseño, y su propósito. Pero dada la naturaleza compleja de los fenómenos estudiados, por lo general, para abordarlos es necesario aplicar no una sino una mezcla de diferentes tipos de investigación (Quezada Nel;2010).

De esta manera, esta investigación es de tipo Descriptiva Correlacional.

**Descriptiva** porque describe los aspectos relacionados con las variables de estudio como son el nivel de presión sonora y el tráfico vehicular permitiendo entender cómo se encuentran las condiciones de estas variables.

**Correlacional** porque establece relación entre las dos variables utilizadas en esta investigación como el nivel de presión sonora y tráfico vehicular, permitiendo entender si son independientes o están relacionadas.

#### **b) Nivel de la investigación**

De acuerdo a la naturaleza de la investigación, por su nivel y características reúne a un estudio descriptivo correlacionado.

### **1.6.2. Método y diseño de la investigación**

#### **a) Método de la investigación**

La investigación se ha ido diversificando entre la muestra y obtención de datos para poder comprobar la hipótesis planteada.

Las características generales de esta investigación fueron: el diagnóstico situacional (descripción de la realidad), marco teórico, diseño: problema, hipótesis y las variables: independiente y dependiente, trabajo de campo (a través de mediciones de ruido en zonas críticas y conteo de vehículos), población y muestra, sistematización de datos, análisis estadístico, desarrollo de software (hoja macro), comprobación de hipótesis, análisis de los resultados.

La metodología de esta investigación fue experimental. Se realizó investigación, recopilación y análisis de datos, modelamiento, medición del ruido y comparación de resultados obtenidos; que a partir de mediciones de ruido se hace necesario la aplicación de procedimientos que puedan revelar la tendencia y sistémico porque está dirigido a modelar el objeto mediante la determinación de sus componentes y su relación entre ellos. Las mediciones se realizaron de acuerdo al protocolo

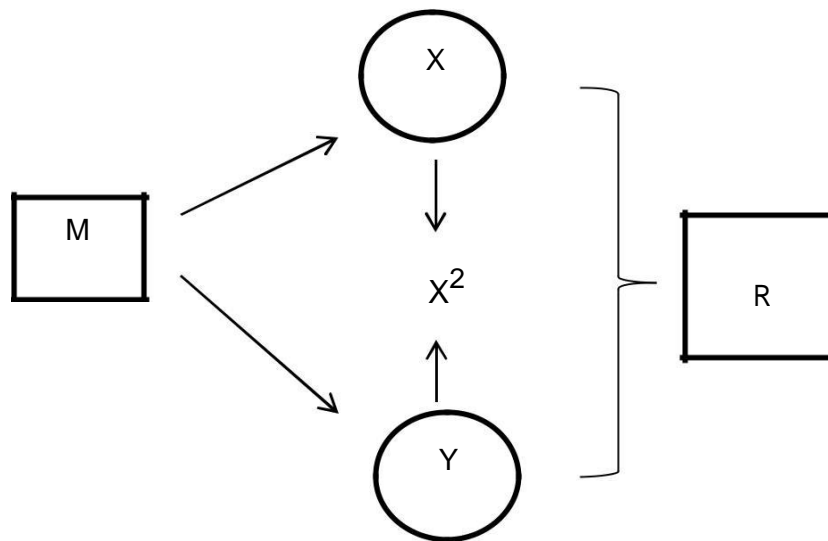


de la NTP ISO-1996-2-2008 Acústica – Descripción, medición y evaluación de ruido ambiental

## b) Diseño de la Investigación

El diseño de la presente investigación corresponde a un tipo de investigación descriptivo correlacional como se muestra en la Figura 1 que se grafica de la siguiente manera:

**Figura 1.** *Diseño de la investigación*



Donde:

M: Muestra de la investigación: zonas críticas

X: Variable independiente: flujo vehicular

Y: Variable dependiente: nivel de presión sonora

$X^2$ : Coeficiente de correlación

R: resultado: modelo matemático

### 1.6.3. Población y muestra de la investigación

**a) Población.** Está constituida por las vías de tránsito vehicular que constituye el Centro Histórico.

**b) Muestra.** Para establecer los puntos de monitoreo, se procedió a delimitar el Centro Histórico, en base a un análisis cualitativo de zonas de mayor congestión vehicular y a través de la visualización e inspección física se identificó las zonas de muestreo. La muestra está constituida por las 10 zonas críticas escogidas, según la evaluación realizada registrando ruidos que exceden los 60 dB(A), según manifestó el director ejecutivo de Salud Ambiental, Zacarías Madariaga: existen más de 20 puntos críticos en el Centro Histórico entre los cuales están las principales avenidas donde se encuentran hospitales y centros educativos (Diario el Pueblo, 2014); así mismo, para complementar se ha recurrido a la información brindada por la Subgerencia de Gestión Ambiental en relación a las zonas de mayor congestión vehicular a fin de comparar con el análisis previo para determinar las 10 zonas de muestreo siendo las siguientes:

- Calle Ayacucho con San Pedro
- Calle Peral con Ayacucho
- Calle Deán Valdivia con San Juan de Dios
- Avenida Ejército con Recoleta
- Calle Ayacucho con Jerusalén
- Calle Palacio Viejo con Cruz Verde
- Avenida Salaverry con San Juan de Dios
- Avenida Goyeneche con Paucarpata
- Avenida Independencia con Paucarpata
- Avenida Independencia (UNSA)

### 1.6.4. Técnicas e instrumento de recolección de datos

**a) Técnica.** Se utilizó el análisis documental que consiste en obtener la información de libros, revistas, periódicos que se utilizan para recolectar datos de la variable de interés y observación a las zonas de mayor congestión vehicular. La técnica utilizada para la medición es según la NTP 854.001-1 Acústica Métodos para el registro del nivel de presión sonora.

## **b) Instrumentos**

- La ficha de registro de datos tomados en las mediciones del ruido en cada punto
- Sonómetro

## **1.7. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.7.1. Justificación**

Uno de los problemas ambientales que se va generando cuando una ciudad crece de manera vertiginosa es el ruido ambiental. Las personas que viven en una ciudad están rodeadas de sonidos y algunos en efecto llegan a ser ruidos; esto quiere decir que son molestos y trastornables; pues bien, vivir en una ciudad tiene muchas ventajas, pero también trae afecciones a la salud, la actividad humana en cada ciudad es diferente.

Según el director ejecutivo de Salud Ambiental, Zacarías Madariaga, en la evaluación realizada en la ciudad que existe más de 20 puntos críticos en el Centro Histórico entre los cuales se ubican en las principales avenidas donde se encuentran hospitales y centros educativos; ejemplos como la Avenida Goyeneche, Independencia, Ayacucho, 28 de Julio, entre otros (Diario el Pueblo, 2014).

La presente investigación se enfocará en estudiar el comportamiento del ruido ambiental producido por el tráfico vehicular en el Centro Histórico de Arequipa debido al crecimiento del parque automotor, el comportamiento acústico difiere cada año. Así el presente trabajo permite mostrar mediante el modelamiento, la situación acústica del Centro Histórico de Arequipa que ofrecerá una mirada integral sobre el daño ambiental producido por el crecimiento no controlado del parque automotor, que con la adecuada gestión mejorará la calidad de vida de los ciudadanos.

### **1.7.2. Importancia**

La realización de un modelo matemático de ruido influye positivamente para modelar y predecir el ruido por el tráfico rodado que permitirá apreciar la situación acústica en los siguientes años, de esta manera los ciudadanos puedan tener mayor conciencia e interés del tema de investigación.

### **1.7.3 Limitaciones**

El investigador solo pudo realizar monitoreo en horario diurno.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

El ruido desde la revolución industrial ha formado parte de las actividades del ser humano que vive en ciudades desarrolladas o en vía de desarrollo, el cual exige vivir en un entorno donde los sonidos se vuelven agresivos para el medio ambiente.

En 1976, en la República Checa, en la ciudad de Praga se realizó el primer mapa de ruido de todos los distritos teniendo en cuenta el número de habitantes. Se mostraban curvas de nivel durante el día de los niveles de ruido  $Leq$  dB (A) en las fachadas de los edificios especialmente de las viviendas. Los mapas resumían resultados de las mediciones durante un ciclo de 24 horas y medidas de corto plazo (generalmente hasta una hora), se calculaba el nivel de ruido basado en información del flujo del tráfico, mostrando la situación acústica en un área extensa (Queensland government, 1999).

Posteriormente, se proponen modelos de predicción del ruido de tráfico vehicular como herramienta para prever los niveles sonoros. Los métodos que destacan son los siguientes: método alemán RLS-90 y DIN 18005, método austríaco RVS 3.02, método francés XPS 31.133 (NMPBB), método inglés CoRTN, método estadounidense FHWA, método nórdico Nordic Traffic Noise Prediction y Nord 2000 Strable, método suizo StL 86, StL 95, StL97 y el método japonés ASJ RTN (Conama, Gobierno de Chile, 2008).

## **Antecedentes internacionales**

M, García E., Cepeda J., Búrdalo G., de Barrios M. (2008), España realizaron *Modelo de predicción de ruido adaptado a variables. Aplicación a la ciudad de León*. El estudio llegó a las conclusiones:

1. Su modelo es una alternativa a los modelos de propagación, más económica y adaptada a las características peculiares de cada ciudad.
2. Que un modelo de este tipo nos permite buscar áreas y zonas con el mismo comportamiento acústico, identificando los mejores puntos para las medidas.
3. Además es posible estudiar la evolución del ruido a través de los años, diseñando nuevas infraestructuras con criterios acústicos y analizar la modificación de los factores externos que influyen. Este modelo fue elaborado en el laboratorio de Acústica de la Universidad de León desarrollado de un modo opuesto al utilizado en los métodos predictivos tradicionales, basándose en descriptores estadísticos basadas en medidas “de campo” realizadas anteriormente y recogidas; esta ciudad ya poseía de mapas acústicas y una buena base datos.

Calixto et al (2003) obtuvieron un modelo matemático aplicado a la ciudad de Curitiba el cual fue validado a partir de mediciones y de los resultados obtenidos con un software desarrollado con base en el German Estándar RLS-90. A partir de la aplicación del método de mínimos cuadrados se consiguió la ecuación que mejor describe el ruido de tráfico a una distancia de 25 m del observador, incluyendo variables como tránsito total y porcentaje de vehículos pesados.

Duque M. Ladino E.,(2007), Colombia, *Modelación matemática de ruido por el tráfico en seis puntos ubicados en Pereira*, realizó el modelamiento matemático utilizando como metodología el método calculation of road traffic noise de Gran Bretaña del año 1975 ,de los resultados obtenidos en seis puntos como objeto de estudio que superan los estándares máximos permisibles, tanto en las mediciones como en la aplicación del modelo matemático; por consiguiente, se observó un alto grado de certeza en la aplicación del modelo puesto que en la mayoría de los casos no superan el 5% con respecto al L10 dado por el percentil 90 de los muestreos con sonómetro.

Zuluaga, C. (2009) realizó un trabajo de investigación: “Un aporte a la gestión del ruido urbano en Colombia, caso de estudio: Municipio de Envigado” logró obtener un modelo matemático, con un buen coeficiente de correlación, para estimar los niveles de presión sonora ambiental en centros urbanos caracterizados

por su alto flujo vehicular. Este modelo constituye en una herramienta de gestión para la mejora de la calidad sonora en la zona centro del municipio de Envigado.

### **Antecedentes nacionales**

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) en el 2010, desarrolló una evaluación rápida para determinar el grado de contaminación acústica o sonora, realizada en siete ciudades del país: Lima, Callao, Maynas Loreto, Ucayali, Junín, Huánuco, Cuzco y Tacna; teniendo como conclusiones:

El tráfico vehicular es la principal causa del ruido ambiental; producido por autos, motocarros, motos, camiones, buses, etc.

Los principales componentes del ruido del tráfico vehicular son:

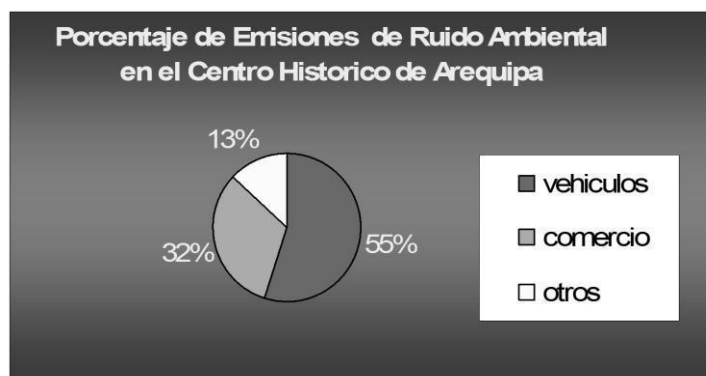
- El ruido de las bocinas ocasionado por el uso indiscriminado por los conductores.
- El uso de silbatos por los policías.
- El parque automotor antiguo, con motores extremadamente ruidosos.
- La presencia simultánea de semáforos y policías.
- La falta de silenciador en el tubo de escape de motocarros y motos (OEFA,2010)

### **Antecedentes locales**

Según la investigación denominada: “El Ruido Ambiental en la ciudad de Arequipa y su incidencia en la Salud de la población más expuesta” de la Gerencia Regional de Salud (2008); en donde se hizo mediciones en 65 puntos correspondientes al área de Centro Histórico, en el cual determina que el 55% de ruido ambiental proviene de vehículos, como se puede observar la Figura 2 de porcentajes de emisiones de ruido ambiental en el Centro Histórico de Arequipa; determinando como conclusión la población vulnerable en los puntos medidos a:

- Comerciantes de venta ambulatoria (venta de CDs, carretillas de fruta, carameleros,
- Personal que labora en centros comerciales
- Taxistas y choferes de transporte urbano
- Policía de tránsito y de servicio de seguridad pública (bancos, centros comerciales)
- Población escolar de Colegios, Academias
-

**Figura 2.** *Porcentaje de emisiones de ruido en el Centro Histórico de Arequipa*



**Fuente:** Gerencia Regional de Salud de Arequipa

El Ruido Ambiental en la ciudad de Arequipa y su incidencia en la Salud de la población más expuesta, 2008 por Gerencia Regional de Salud, determinó las fuentes de emisiones de ruido ambiental en porcentajes: 55% ruido producido por vehículos, 32% ruido producido por el comercio y 13% como otros.

López T. (2013), realizó la tesis denominada “Determinación de niveles de ruido ambiental en el distrito de Cercado de Arequipa” concluyendo: los valores sobrepasan el estándar de calidad ambiental establecidos en el DS N°085-PCM-2003.

-Mediante una encuesta se demostró el desconocimiento de la población en cuanto a contaminación acústica. En la Tabla 1, muestra las mediciones en el año 2008 y 2014 que realizaron la Gerencia Regional de Salud y la Municipalidad de Arequipa, respectivamente.



**Tabla 1. Datos de referencia**

<b>Estaciones</b>	<b>2008</b>	<b>2014</b>
	Gersa (dB A)	Municipalidad Provincial de Arequipa (dB A)
Ejército	71.9	73.9
Paucarpata	75	76.3
Independencia	76.2	77.1
Goyeneche	75.9	76.1
Salaverry	76.1	75.7
Deán Valdivia	72.3	73.3
Jerusalén	74.2	76.7
Peral	72.5	72.8
Palacio viejo	73.8	75.7
Ayacucho	72.4	72.3

**Fuente:** Elaboración propia

A nivel nacional y local, son pocos los avances que se conocen en modelamiento de ruido.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

La temperatura ambiental tiene un efecto significativo sobre la velocidad del sonido, de modo que la velocidad del sonido aumenta en 0.61 m/s por cada aumento de 1°C en la temperatura (Harris 1995).

El sonido es una pequeña alteración de la presión atmosférica producida por la oscilación de partículas, a través de las cuales se transmite longitudinalmente la onda sonora. Este fenómeno puede producir una sensación auditiva (Jaramillo, 2007).

El sonido se debe a la fluctuación de ondas de presión en el aire que son registradas por nuestro oído y sistema nervioso. Por ruido se entiende un sonido indeseable para la persona que lo escucha; por lo general tienen una o varias características: es duradero, de fuerte intensidad, elevada frecuencia y caótico (Jiménez E., 2001). Cualquier sonido puede llegar a ser desagradable para una persona, y con ello clasificable como ruido (Recuero y Suarez ,2004).

Seoanez (1997) menciona que del ruido se puede decir que se trata de un sonido no deseado y desagradable, por lo tanto, lo podemos estudiar como tal sonido y también por las sensaciones auditivas que produce al ser captado por el órgano auditivo del hombre.

Según el DS N°085-PCM-2003 ruido es un sonido no deseado que moleste o afecte la salud de las personas.

### **Ruido de tránsito**

Segura J. y Casas R. (2011) indican que el ruido de tránsito está determinado por una serie de factores como:

- ✓ El ruido de los vehículos individuales
- ✓ Flujo vehicular
- ✓ Pendiente de la vía
- ✓ Tipo de perfil

El ruido emitido por vehículos individuales depende del tipo y tamaño, velocidad y relación de transmisión (marcha o cambio). Las fuentes principales de ruido vehicular son el motor y la transmisión, el escape y la rodadura y las turbulencias aerodinámicas. El ruido generado por el motor y el escape dependen de la velocidad y el tipo de pavimento. Los ruidos del motor y el escape dependen de la velocidad del vehículo y del tipo de pavimento que origina la compresión y liberación de burbujas de aire que se encuentran atrapadas entre la cubierta y el pavimento; la compresión y liberación será mayor para pavimentos lisos que para pavimentos porosos.

La cantidad de vehículos por hora tiene incidencia directa en el ruido. Según el tipo de régimen para el flujo vehicular tenemos: El flujo continuo muy característico de una ruta, el flujo pulsante continuo que se presenta en calles urbanas y el flujo interrumpido que es característico de calles semaforizadas.

El origen de cada fuente de ruido depende del tipo de vehículo, y modo de conducción. El ruido en vehículo ligero el ruido es dominante en velocidad lenta y tramos cortos. En vehículos pesados de diésel el ruido de refrigeración y salidas de gases podrá ser combustible.

Según la NTP ISO 1996-1-2007 Acústica –Descripción medición y evaluación de ruido ambiental, el ruido de tráfico vehicular es considerado como evento

individual repetitivo de sonidos ambientales típicamente de recurrencias de sonidos individuales.

### 2.2.1 Medidas descriptivas

El oído humano es capaz de detectar variaciones de presión acústica comprendidas entre  $20 \times 10^{-6}$  Pa (20 m Pa) y 200 Pa (200.000.000 m Pa) aproximadamente. Entonces, para cuantificar el ruido en pascales, se debería usar una escala de 200.000.000 de unidades; con el fin de evitar la utilización de cifras sumamente elevadas, se procede al uso de una escala logarítmica mediante la introducción del concepto del Nivel de Presión acústica en decibelios (Pérez de Siles, 2001).

Se utilizan dos tipos de índices en el ruido de transporte: el nivel máximo utilizado, por ejemplo, para caracterizar el ruido de paso de un vehículo y el nivel equivalente (Leq) utilizado para caracterizar el ruido del tráfico.

#### ➤ **Sonómetro promediador**

Marca CIRRUS 820c, Clase 2 (*Anexo 1*). Este sonómetro tiene la capacidad de poder calcular el nivel continuo equivalente Leq, L10 que fueron usados para la investigación. Incorporan funciones para la transmisión de datos al ordenador, cálculo de percentiles, y algunos análisis en frecuencia, además en la memoria interna del sonómetro registra la medición. El sonómetro utilizado fue calibrado por INDECOPi (*Anexo 2.*) que da validez y confiabilidad.

#### ➤ **Nivel de presión acústica equivalente**

El nivel de presión acústica equivalente caracteriza un ruido en un tiempo dado T. Utiliza el promedio de la presión cuadrática. Puede depender del momento considerado. Se escribe LAeq, T (t) y es dado por:

$$L_{Aeq,T}(t) = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_{t-T}^t \frac{p^2 A(T)}{p_0^2} dT \right) \dots \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

Los cambios en el tráfico se pueden caracterizar por cambios en el nivel equivalente tomado en una hora LAeq, 1h (Besnard, F., Hamet J., Lelong J., Le duc E., Guizard V., Furst N., Doisy, Methodologic guide Road noise prediction 1 - Calculating sound emissions from road traffic, 2009, junio)

El nivel de presión sonora se expresa en decibeles (dB). Un incremento de 1 dB no representa un incremento fijo de la presión sino un aumento relativo de un 12,2% (Miyara, 1999).

➤ **Filtro A**

Existen 4 escalas de ponderación: A, B, C y D. Estas escalas se encuentran introducidas en los aparatos de medida (sonómetros) para corregir sus lecturas adaptándolas a la respuesta del oído (Pérez de Siles, 2001). El filtro de ponderación A es el que simula el mecanismo del oído humano, por esto es el más utilizado, pero también es el que más protege al hombre contra la agresión del ruido (Kogan, 2004). Además, este es el filtro que es considerado en el Reglamento de estándares de calidad ambiental para el ruido nombrado en el artículo 3 como parte de las definiciones (Decreto Supremo N° 085-PCM-2003).

El nivel sonoro con ponderación A es la mejor unidad disponible para evaluar y justipreciar problemas de ruido y para tomar decisiones en consecuencia (Miyara F, S.f.)

➤ **Percentil L10**

El Percentil L10 de Nivel Sonoro Continuo Equivalente corresponde al Nivel Continuo Equivalente (Leq) que es excedido el 10 % del tiempo total de mediciones en la distribución porcentual acumulada, es decir, el percentil L10 registra sólo los eventos más sonoros, los cuales, en total, estuvieron presentes en tan solo el 10% del tiempo de medición (Kogan, 2004). Es básicamente un cuantificador de los niveles sonoros altos (Krauss, 2003).

### **2.2.2. Modelos de predicción de ruido de tráfico rodado**

A los efectos de la predicción de la emisión y propagación de las ondas sonoras, hay varios aspectos a tener en cuenta. Un modelo predictivo confiable permite obtener buenas aproximaciones de los niveles sonoros que pueden esperarse en determinadas condiciones si se cuenta con los datos correctos para alimentarlo. Se desea que los datos a emplear sean de obtención sencilla, como por ejemplo la cantidad de vehículos que circulan por unidad de tiempo y eventualmente el tipo de vehículos de que se trata (tránsito horario total o clasificado). Entre las aplicaciones frecuentes de los modelos predictivos de ruido urbano, puede desearse tomar decisiones acerca del desvío de líneas de tránsito colectivo, el cambio de sentido de circulación en una calle o el mejor lugar para instalar un centro de atención a la salud. Los modelos predictivos pueden ser de base empírica o teórica.

Muchos modelos empíricos se basan en el ajuste de colecciones de datos más o menos amplias, siguiendo alguna forma de ecuación sencilla y aplicando métodos matemáticos conocidos, como el ajuste por mínimos cuadrados (Gonzales A. S.f).

No existe un consenso internacional para el cálculo de las ecuaciones predictivas de ruido, pero para la obtención de estas expresiones esencialmente se utilizan cálculos estadísticos-matemáticos como son la estimación lineal o la estimación no lineal (linealización de una función no lineal) junto con su análisis de correlación.

#### **2.2.2.1. Modelo Alemán RLS-90**

El método alemán RLS-90 es el sucesor del RLS-81 a partir de 1990, el que se basaba en la norma DIN 18005 "Protección contra el ruido en áreas urbanas" que data de 1987. El modelo establece aspectos técnicos específicos en orden a predecir y mitigar los niveles de ruido producidos por tráfico rodado. El descriptor utilizado es el  $L_{eq}1$  hora y también entrega resultados para rangos de tiempos mayores: para el día (6:00 AM a 10:00 PM) y la noche (10:00 PM a 6:00 AM). En este último caso se requiere la utilización de una variable alternativa denominada promedio diario de tráfico ADT (Average Daily Traffic). RLS-90 usa el método de fuente puntual con divergencia, atenuación de terreno, apantallamientos y reflexiones (Verkehr, Bonn, 1990).

#### **2.2.2.2. Modelo Escandinavo Statens Planverk 48**

Statens Planverk 48 es el método oficial de predicción de ruido de tránsito para los países nórdicos: Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia. Su versión inicial data de 1989 y ha sido actualizado en 1992. El estándar establece un modelo separado para la emisión y para la propagación sonora. El descriptor que se obtiene es el nivel continuo equivalente  $L_{eq}$  ponderado A para un período de 24 horas. El nivel de emisión básico  $L_{basico}$  ha sido estimado a una distancia de 10 metros del centro de una vía, con una altura de 1,5 metros sobre el terreno para un plano horizontal, con una carretera recta e infinitamente larga, con asfalto normal y tráfico fluido y sin presencia de obstáculos o reflexiones, exceptuando las del

suelo. La fuente lineal se ubica a 0,5 metros sobre el pavimento. El nivel de emisión de referencia LRE se obtendrá por la adición de las correcciones que se apliquen a Lbásico según la intensidad real horaria, velocidad de los vehículos, porcentaje de vehículos pesados y gradiente de la vía. Por lo tanto, será necesario obtener la distancia perpendicular a la carretera desde el punto del receptor (Nordic Countries.,1996).

#### **2.2.2.3. Modelo Francés NMPB-Routes-96**

Este modelo no se profundizó debido a los inconvenientes que se encontraron para obtener esta información, por lo tanto, se utilizó la información más relevante y esta se aplicó a esta investigación. El método de cálculo para el ruido de tráfico rodado, es el método nacional de cálculo francés “NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)”, mencionado en el “Arrête du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routièrès, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6”, y en la norma francesa “XPS 31-133”. Por lo que se refiere a los datos de entrada sobre la emisión, estos documentos se remiten al “Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores, CETUR 1980”. NMPB-ROUTES-2008, (10 de mayo 1995, Ruido del tráfico rodado. El método nacional de cálculo francés, mencionado en el «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routièrès,Journal officiel du 10 mai 1995, article 6. Recuperado [http://www.setra.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/US\\_09572A\\_Road\\_noise\\_predictionDTRF.pdf](http://www.setra.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/US_09572A_Road_noise_predictionDTRF.pdf)).

#### **2.2.2.4. Modelo matemático CoRTN (Calculation of Road Traffic Noise)**

El Modelo CoRTN fue desarrollado por el Departamento de Medio Ambiente del Reino Unido, Inglaterra en 1975. Este modelo predice el nivel sonoro que generan los autos que circulan por una autopista, por esto asume una fuente lineal y una velocidad de tráfico constante (Department of Transport, 1988). Sirve como ayuda para el diseño de carreteras y para la determinación de una adecuada insonorización de las viviendas. Al percentil L10, se lo utiliza básicamente para evaluar el grado de exposición real de la población al ruido, esto influyó en la elección de L10 como el índice de ruido

(HMSO, United Kingdom. Calculation of Road Traffic Noise. 1988. Método nacional de cálculo Reino Unido. London, Ed, Crown).

### -Modelo de emisión

El nivel de referencia de emisión (LRE) se obtiene al sumar las siguientes variables:

- ✓ El nivel básico de ruido a 10 metros.
- ✓ Corrección por velocidad.
- ✓ Ajustes por vehículos pesados.
- ✓ Corrección por gradiente de la vía.
- ✓ Corrección para flujo bajo y para pequeñas distancias a la fuente.

El efecto sobre el nivel de los diferentes tipos de pavimentos no es considerado en el método oficial.

El nivel básico de ruido

Corresponde a la estimación del percentil L10 ya sea para una hora bajo condiciones de campo libre Se asume que la velocidad de los vehículos es 75 km/h y sin vehículos pesados.

$$L_{10} = 41.2 + 10 \log Q \text{ dB(A)} \dots \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

L10: nivel básico de ruido

Q: intensidad de tráfico, vehículos por hora

- Corrección por velocidad promedio del tránsito (V) y porcentaje de vehículos pesados (p)

$$\text{Correccion} = 33 \log \left( V + 400 \frac{500}{V} \right) + 10 \log \left( 1 + \frac{5p}{V} \right) - 68.8 \text{ dB(A)} \dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Corrección: corrección por velocidad y vehículos pesados (dBA)

V: velocidad media de los vehículos livianos y pesados (km/h)

p porcentaje de vehículos pesados.

➤ Corrección por gradiente

Está expresado en términos porcentuales, tanto positivo como negativo, presenta la siguiente atenuación.

$$\text{Corrección} = 0.2G \text{ dB (A)} \dots \dots \dots \text{Ecuación 4}$$

Donde:

Corrección: ajuste por gradiente de la vía (dB)

G: pendiente de la vía, tanto positiva como negativa (%)

➤ Corrección de hendiduras al azar juntas 5 mm o más de profundidad en términos de porcentaje de vehículos pesados

$$\text{Corrección} = 4 - 0.3p \text{ dB(A)} \dots \dots \dots \text{Ecuación 5}$$

Donde:

p: pendiente

➤ Propagación sobre suelo duro como función de la distancia horizontal “d” desde el borde del lado más cercano de la calzada y a una altura “h” del suelo.

$$\text{Corrección} = -10 \log \left( \frac{d'}{13.5} \right) \text{ dB (A)} \dots \dots \dots \text{Ecuación 6}$$

$$\text{donde } d' = \sqrt{(d + 3.5)^2 + (h - 0.5)^2} \dots \dots \dots \text{Ecuación 7}$$

Donde:

d': distancia de la fuente al receptor

➤ La corrección por efecto de reflexión se da de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Corrección} &= 2.5 \text{ dB (A) Misma fachada si hay} \\ \text{Corrección} &= 1.0 \text{ dB (A) Fachada opuesta si la hay} \end{aligned}$$

➤ Determinación del nivel de ruido horario como L10

$L_{10}$

= Nivel básico de ruido

+ Corrección por velocidad promedio y porcentaje de vehículos pesados

+ Corrección por pendiente de vía + Corrección para superficie de hendiduras

+ Corrección por propagación sobre suelo duro

+ Corrección por efecto de reflexión

Para el porcentaje de vehículo, se realizó mediante la Ecuación 8

$$\% \text{ Vehículos Pesados} = \frac{\text{N}^\circ \text{ Vehículos Pesados} \times 100}{\text{N}^\circ \text{ Total de Vehículos}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 8}$$

Se aplicó el Método de CoRTN para poder determinar el nivel sonoro experimental (Ecuación 9) y para determinar el porcentaje de error mediante la



Ecuación 10, promedio de diferencias Ecuación 11, para el nivel sonoro corregido Ecuación 12 y el promedio de vehículos la Ecuación 13:

$$\%E = \frac{\text{Nivel sonoro Experimental} - \text{Nivel Sonoro Calculado CoRTN}}{\text{Nivel Sonoro Experimental}} \times 100 \dots \text{Ecuación 9}$$

$$\Delta = \text{Nivel sonoro experimental} - \text{Nivel sonoro CoRTN} \dots \text{Ecuación 10}$$

$$\text{Promedio } \Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_{10}}{10} \dots \text{Ecuación 11}$$

$$\text{Nivel Sonoro Corregido} = \text{Nivel Sonoro CoRTN} - \text{Promedio } \Delta \dots \text{Ecuación 12}$$

Peña J., 2012, en su trabajo de grado “Algoritmo de predicción de ruido de tráfico rodado aplicado en la autopista norte entre la calle 127 hasta la calle 168” determinó que la diferencia de margen de error entre los tres métodos de predicción fue mínima, se obtuvo un margen promediado en el método NMPB de un 1,77% seguido por el método RLS-90 con un 1,72% y finalmente el CoRTN con un 1,31%. Según estos datos el mejor método para la autopista fue el CoRTN por su cercanía con los resultados de la medición y determinándolo como mejor modelo de propagación.

### 2.2.3 Conteo vehicular

Los conteos volumétricos realizados tienen por objeto conocer los volúmenes de tráfico vehicular que soporta la carretera en estudio, así como su composición vehicular y la variación diaria.

Para convertir el volumen de tráfico obtenido del conteo, en Índice Medio Diario (IMD), se ha empleado la siguiente ecuación 13 considerando vehículos (Quiñonez R, 2011).

$$IMD = \frac{5VDL + VS + VD}{7} \dots \text{Ecuación 13}$$

Donde:

VDL = Promedio de volumen de tránsito de días laborales

VS = Volumen de tránsito del sábado

VD = Volumen de tránsito del domingo

La ecuación no considera el número de vehículos pesados ni livianos siendo la ecuación 14 flujo vehicular por hora.

$$Q = \left( \frac{Q_{liv} + Q_{pes}}{2} \right) \dots\dots\dots \text{Ecuación 14}$$

Donde, Q liv es el flujo de vehículo livianos y Q pes el flujo de vehículos pesados.

#### 2.2.4 Regresión lineal

Expresándolo en forma simple, la regresión lineal es una técnica que permite cuantificar la relación que puede ser observada cuando se grafica un diagrama de puntos dispersos correspondientes a dos variables, cuya tendencia general es rectilínea; relación que cabe compendiar mediante una ecuación “del mejor ajuste” como muestra la Ecuación 15 de la forma:

$$y = a + bx \dots\dots\dots \text{Ecuación 15}$$

En esta ecuación, “y” representa los valores de la coordenada a lo largo del eje vertical en el gráfico (ordenada); en tanto que “x” indica la magnitud de la coordenada sobre el eje horizontal (abscisa). El valor de “a” (que puede ser negativo, positivo o igual a cero) es llamado el intercepto; en tanto que el valor de “b” (el cual puede ser negativo o positivo) se denomina la pendiente o coeficiente de regresión (Pauly, D., Rome, 1983).

#### 2.2.5. Linealización de una función no lineal

En las ecuaciones de predicción de ruido de tráfico (Ecuación 16), es conocida la relación entre el nivel equivalente y el logaritmo del flujo vehicular. Los modelos obtenidos por linealización producen resultados aceptables en tornos ciertos puntos de operación (Arahal, M., Berenguel M., Rodríguez, F., 2006).

$$LA_{eq} = A + B \log(Q) \dots\dots\dots \text{Ecuación 16}$$

El grado de precisión de las ecuaciones lo entrega el coeficiente de correlación “r” que va desde -1 a 1. Este coeficiente determina la calidad de la correlación entre variables. Entonces:

r > 0, la correlación lineal es positiva (si sube el valor de una variable sube el de la otra). La correlación es tanto más fuerte cuanto más se aproxima a 1.

$r < 0$ , la correlación lineal es negativa (si sube el valor de una variable disminuye el de la otra). La correlación negativa es tanto más fuerte cuando más se aproxima a -1.

$r = 0$ , no existe correlación lineal entre las variables

Según Antillanca (2005), existe una relación entre el nivel sonoro equivalente y el logaritmo del número de vehículos, siguiendo la ecuación 15. En ecuación 17, 18 y 19 se calculan: la pendiente, la intersección con el eje y cálculo de coeficiente de correlación, respectivamente, utilizando el método de suma de cuadrados que servirá para hallar la ecuación de predicción para el Centro Histórico de Arequipa. Esto con el fin de equiparar escalas puesto que los decibelios son una escala logarítmica.

$$B = \frac{n \sum \log Q_i \cdot Y_i - \sum \log Q_i \cdot \sum Y_i}{n \sum (\log Q_i)^2 - (\sum \log Q_i)^2} \dots\dots\dots \text{Ecuación 17}$$

$$A = \frac{\sum Y_i - B \sum \log Q_i}{n} \dots\dots\dots \text{Ecuación 18}$$

$$r = \frac{n \sum \log Q_i \cdot Y_i - \sum \log Q_i \cdot \sum Y_i}{\sqrt{n \sum (\log Q_i)^2 - (\sum \log Q_i)^2} \cdot \sqrt{n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 19}$$

El modelo matemático desarrollado en este trabajo para la predicción de los niveles de ruido por tráfico vehicular parte del modelo teórico generalista (González, 2000).

## 2.2.6. Mapa de ruido estratégico

### 2.2.6.1 Metodología geoestadística

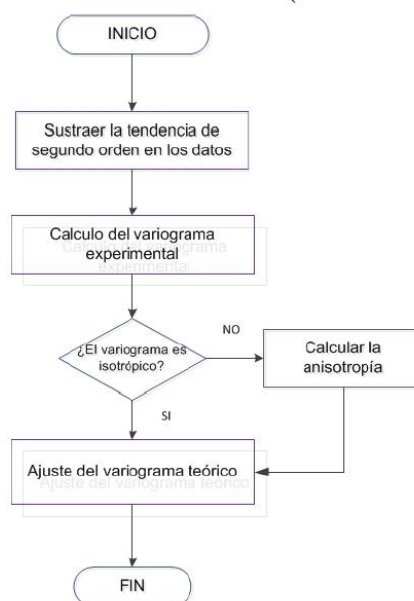
➤ Análisis exploratorio. Es el empleo de herramientas de la estadística clásica para encontrar valores atípicos (outliers) y tendencias en los datos del fenómeno de estudio. Las herramientas exploratorias que se emplean en el modelo son:

- Histograma de frecuencias. Facilita la determinación de la distribución de los datos y permite establecer si es necesario efectuar transformaciones para lograr la normalidad de los datos.

- Box-plot. Diagrama que grafica los cuartiles de los datos recolectados; los datos que estén por encima del tercer cuartil y debajo del primer cuartil, se consideran valores atípicos.
  - Diagrama variable y ubicación. Grafica las coordenadas espaciales y el valor de los niveles de ruido, para detectar tendencias en la dirección norte o este, este diagrama se realiza en el análisis de tendencias de la extensión geostatistical analyst de ArcGIS.
  - Medias y medianas (por filas y columnas). Consiste en dividir el área de estudio en filas y columnas, para calcular la media y mediana en cada una de ellas para encontrar valores atípicos en cada fila y columna.
  - Estadístico. Cuantifica la diferencia entre los valores de las filas y columnas, para determinar la diferencia entre la media y la mediana. (Gómez, S., Chamorro, A. & Orozco, D. Modelo para la representación de los mapas estratégicos de ruido ambiental y tráfico rodado. Ingenium, 2013, pp 43-58.)
- Análisis estructural. El análisis estructural encuentra el variograma experimental para ajustarlo a un variograma teórico que cumple con las condiciones de la geoestadística,

El estudio variográfico es el paso previo y obligatorio para la obtención de la cartografía de la estimación de la distribución estimada de las variables, el proceso para realizar el análisis estructural se muestra en la Figura 3.

**Figura 1.** Análisis estructural en Arcgis

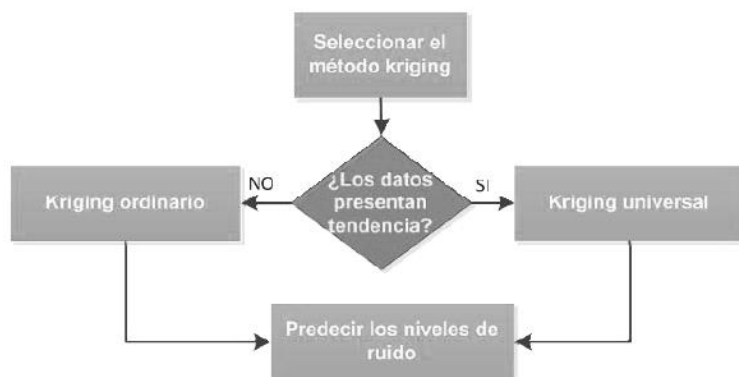


**Fuente:** Gómez et al., 2012

El proceso ilustrado en la Figura 3 se realiza en el asistente de la extensión *geostatistical analyst* de ArcGIS. Durante el cálculo del variograma experimental: calcular el variograma para varios vectores de distancia (lags) para observar el comportamiento de la variable de estudio; encontrar el variograma en varias direcciones para detectar anisotropía en los datos; el número mínimo de pares para representar un punto en el semivariograma debe ser superior a 30 (Journel & Huijbregts, 1978).

- Predicción de los niveles de ruido. El último paso de la metodología geoestadística es la aplicación del método Kriging para predecir los valores de la variable en la zona de estudio, la aplicación de este método depende de los resultados obtenidos en las etapas anteriores, como lo indica la Figura 4.

**Figura 2.** Selección de predicción según el método Kriging



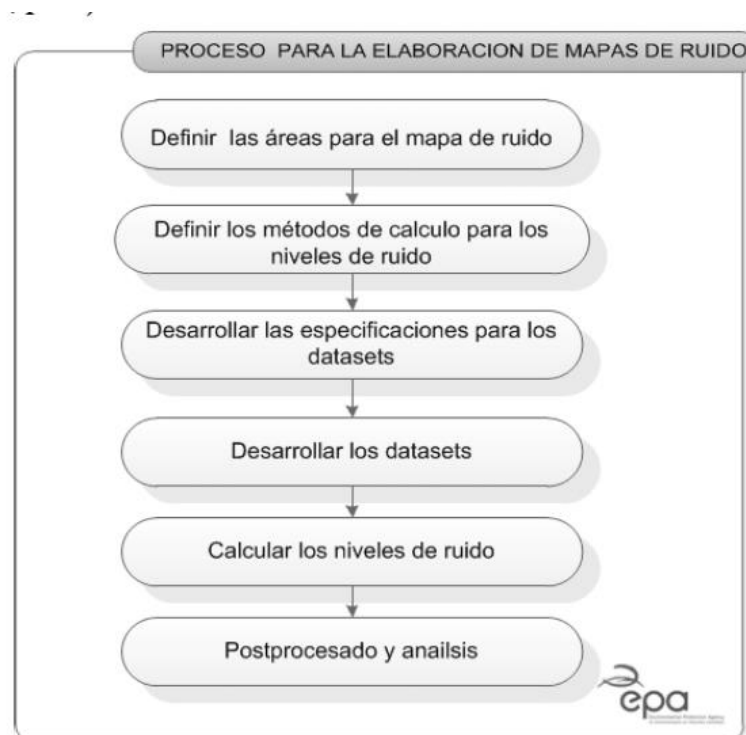
**Fuente:** Gómez et al., 2012

El método utilizado en esta investigación es el kriging en Arcgis. El método de kriging ordinario cuyo estimador asume que los datos tengan una media constante pero no conocida: en el cómputo se tiene en cuenta las influencias locales asociadas a valores vecinos, hay pocas suposiciones relativas a los datos; esto hace que el kriging ordinario sea considerado un interpolador flexible comparado con otros. (Daniele D., Aplicación de sistemas de información geográfica al estudio de acuíferos complejos, caso del campo de Dalías, Tesis doctoral, España ,2007).

El kriging está dividido en dos tareas distintas; primero conocer las reglas de dependencia de la estructura espacial y luego producir una predicción. Como consecuencia de estas dos tareas el kriging emplea dos veces los datos, la primera para estimar la correlación o auto correlación espacial de los datos y la segunda para hacer predicciones (Peña, J.,2008).

El cálculo de los niveles de ruido por tráfico rodado se desarrolla en el proceso planteado por la *Environmental Protection Agency* (EPA, 2011) para la elaboración de mapas de ruido como muestra la Figura 4; de igual manera, es importante considerar que el software de simulación acústica seleccionado tiene la capacidad de exportar sus resultados al SIG ArcGIS y que contenga métodos de cálculo para el tráfico rodado (EPA, 2011).

**Figura 3.** Proceso para la elaboración de mapas de ruido



Fuente: EPA (2011), p. 26

### 2.2.7. Programador en Excel-Macro

Es un conjunto de predicciones escritas en lenguaje Visual Basic de Microsoft Corporation que viene incluido en la hoja de cálculo, que tiene

como fin automatizar tareas, procesos administrativos y para optimizar el tiempo de estas tareas (Romero I.,2012). Esta investigación utilizará este programador como software para la predicción del ruido mediante el modelo matemático obtenido.

### **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

- A. Modelo matemático: emplear un formulismo matemático para expresar variables para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad.
- B. Sonómetro: Instrumento de medida que sirve para medir niveles de presión sonora (de los que depende la amplitud y, por tanto, la intensidad acústica y su percepción, sonoridad (Sonómetro,S.f Recuperado <https://es.wikipedia.org/wiki/Son%C3%B3metro>).
- C. Decibel (dB): Unidad adimensional usada para expresar el logaritmo de la razón entre una cantidad medida y una cantidad de referencia. De esta manera, el decibel es usado para describir niveles de presión, potencia o intensidad sonora (DS N°085-PCM-2003).
- D. Linealización: es un método para estudiar la estabilidad local de un punto de equilibrio de un sistema de ecuaciones diferenciales no lineales. Este método se utiliza en campos tales como la ingeniería, la física, la economía, y la biología.

## CAPÍTULO III

### PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La contaminación ambiental se ha vuelto un tema importante por investigar, el ruido es un problema que va tomando importancia y el modelamiento será favorable para apreciar la situación acústica de la ciudad.

#### 3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

##### 3.1.1 Zona de estudio

Las zonas de estudio son consideradas críticas de acuerdo a evaluaciones realizadas por la Gerencia Regional de Salud de Arequipa. De la Tabla 2 a la 11, muestran las características de cada zona: puntos de referencia, ubicación en unidades UTM, tipo de pavimento.

**Tabla 1.** *Datos de la estación Ejército*

<b>DIRECCIÓN</b>	Avenida Ejército
<b>PUNTO DE REFERENCIA</b>	Al frente de la pollería Norkys
<b>COORDENADAS UTM</b>	NORTE 8185982.13 m ESTE 228633.06 m
<b>TIPO DE PAVIMENTO</b>	Asfalto-pavimento flexible

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2.** *Datos de la estación Paucarpata*

<b>DIRECCIÓN</b>	Avenida Independencia con Paucarpata
<b>PUNTO DE REFERENCIA</b>	Universidad Nacional San Agustín
<b>COORDENADAS UTM</b>	NORTE 8184666.39 m ESTE 230062.00 m
<b>TIPO DE PAVIMENTO</b>	Asfalto-pavimento flexible

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 3. Datos de la estación Independencia**

<b>DIRECCIÓN</b>	Avenida Independencia con La Salle	
<b>PUNTO DE REFERENCIA</b>	Universidad Nacional San Agustín	
<b>COORDENADAS</b>	<b>NORTE</b>	8184921.12 m
<b>UTM</b>	<b>ESTE</b>	230368.96 m
<b>TIPO DE PAVIMENTO</b>	Asfalto-pavimento flexible	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4. Datos de la estación Goyeneche**

<b>DIRECCIÓN</b>	Avenida Goyeneche con Calle Paucarpata	
<b>PUNTO DE REFERENCIA</b>	Hospital Goyeneche	
<b>COORDENADAS</b>	<b>NORTE</b>	8186006.94 m
<b>UTM</b>	<b>ESTE</b>	228566.93 m
<b>TIPO DE PAVIMENTO</b>	Asfalto-pavimento flexible	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5. Datos de la estación Salaverry**

<b>DIRECCIÓN</b>	Avenida San Juan de Dios con Salaverry	
<b>PUNTO DE REFERENCIA</b>	A dos cuadras del Seguro Social	
<b>COORDENADAS</b>	<b>NORTE</b>	8184283.03 m
<b>UTM</b>	<b>ESTE</b>	228852.16 m
<b>TIPO DE PAVIMENTO</b>	Asfalto-pavimento flexible	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6. Datos de la estación Deán Valdivia**

<b>DIRECCION</b>	Avenida San Juan de Dios con Deán Valdivia	
<b>PUNTO DE REFERENCIA</b>	A una cuadra de parque Duhamel	
<b>COORDENADAS</b>	<b>NORTE</b>	8185021.88 m
<b>UTM</b>	<b>ESTE</b>	229152.71 m
<b>TIPO DE PAVIMENTO</b>	Asfalto-pavimento flexible	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 7. Datos de la estación Jerusalén**

<b>DIRECCIÓN</b>	Calle Ayacucho con Jerusalén	
<b>PUNTO DE REFERENCIA</b>	A dos cuadras del Seguro Social	
<b>COORDENADAS</b>	<b>NORTE</b>	8185714.97 m
<b>UTM</b>	<b>ESTE</b>	229412.02 m
<b>TIPO DE PAVIMENTO</b>	Adoquines de concreto pavimento rígido	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8.** *Datos de la estación Peral*

<b>DIRECCIÓN</b>	Calle Peral con Ayacucho
<b>PUNTO DE REFERENCIA</b>	Municipalidad Provincial de Arequipa (FILTRO)
<b>COORDENADAS UTM</b>	NORTE 8185650.22 m ESTE 229650.75 m
<b>TIPO DE PAVIMENTO</b>	Adoquines. Pavimento rígido

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9.** *Datos de la estación Palacio Viejo*

<b>DIRECCIÓN</b>	Calle Palacio Viejo con Cruz Verde
<b>PUNTO DE REFERENCIA</b>	A una media cuadra del policlínico Espíritu Santo
<b>COORDENADAS UTM</b>	NORTE 8185182.97 m ESTE 228708.14 m
<b>TIPO DE PAVIMENTO</b>	Asfalto-pavimento flexible

Fuente: Elaboración propia

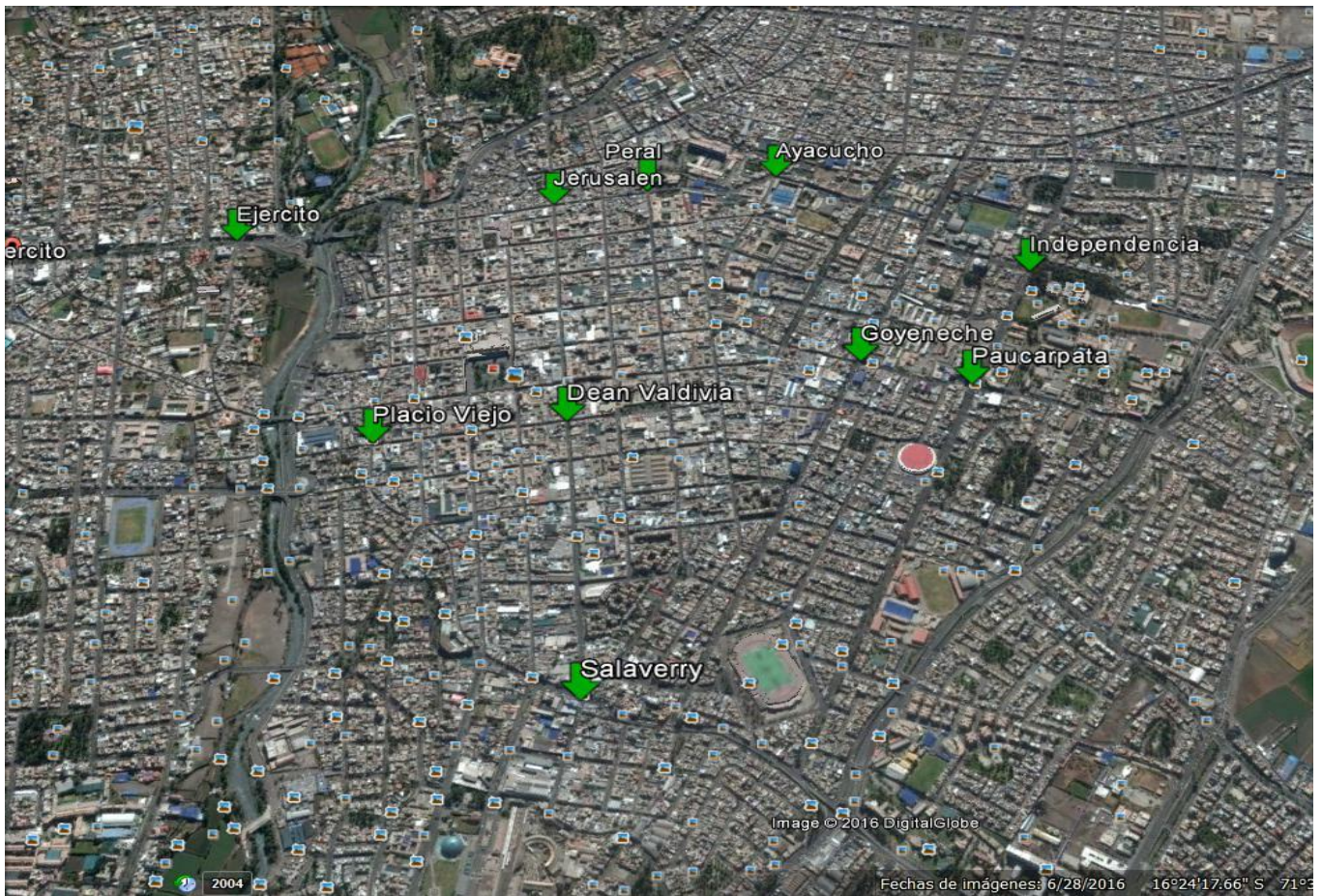
**Tabla 10.** *Datos de la estación Ayacucho*

<b>DIRECCIÓN</b>	Calle Ayacucho con San Pedro
<b>PUNTO DE REFERENCIA</b>	Colegio Don Bosco
<b>COORDENADAS UTM</b>	NORTE 8185540.38 m ESTE 229966.06 m
<b>TIPO DE PAVIMENTO</b>	Asfalto-pavimento flexible

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4, se muestra las zonas monitoreadas.

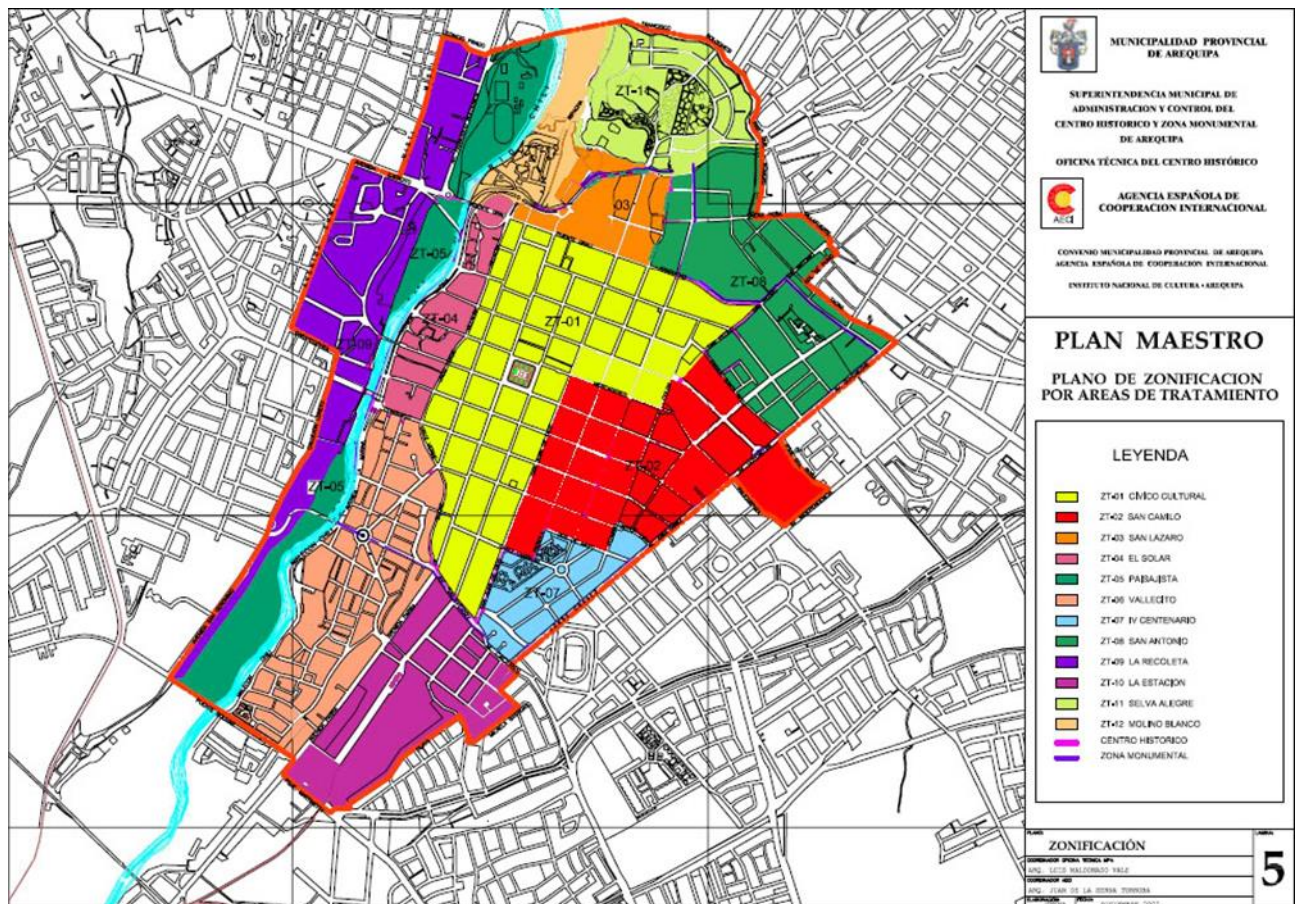
**Figura 4.** Plano de zonificación por áreas de tratamiento



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5, se muestra el plano de zonificación del Centro Histórico de Arequipa realizado en el Plan Maestro de 2002.

**Figura 5. Plano de zonificación por áreas de tratamiento**



Fuente: Plan Maestro, 2002

En la Tabla 12, muestra la zonificación urbana e índice de usos para la ubicación de actividades económicas que clasifica el tipo de suelo según su uso (OM -934-2015); además, la zonificación según el tipo de zona de acuerdo al Reglamento de Estándares de calidad ambiental para ruido (DS N085-PCM-2003), es importante identificar el tipo de zonas para poder determinar el efecto del ruido.

**Tabla 11. Zonificación de cada zona de medición**

<b>ESTACIÓN</b>	<b>ZONIFICACIÓN USOS DE SUELO</b>	<b>TIPO DE ZONA SEGÚN REGLAMENTO de ECAs</b>
Ejército	ZONA MONUMENTAL	ZONA DE USO ESPECIAL
Independencia	ZONA RESIDENCIAL	ZONA RESIDENCIAL
Goyeneche	SALUD	ZONA DE USO ESPECIAL
Paucarpata	ZONA RESIDENCIAL	ZONA RESIDENCIAL
Salaverry	ZONA RESIDENCIAL	ZONA RESIDENCIAL
Deán Valdivia	ZONA MONUMENTAL	ZONA DE USO ESPECIAL
Jerusalén	ZONA MONUMENTAL	ZONA DE USO ESPECIAL
Peral	ZONA MONUMENTAL	ZONA DE USO ESPECIAL
Palacio viejo	ZONA MONUMENTAL	ZONA DE USO ESPECIAL
Ayacucho	ZONA MONUMENTAL	ZONA DE USO ESPECIAL

**Fuente:** Elaboración propia

### **3.1.2. Datos meteorológicos**

Es importante tener en cuenta que los datos meteorológicos de los días de medición (*Anexo 3*), de acuerdo a lo estipulado por la NTP-1996-2-2008-Descripción medición y evaluación de ruido ambiental, fueron obtenidos de Senamhi de la estación La Pampilla: temperatura, velocidad del viento, humedad relativa; las condiciones climáticas son favorables y válida esta investigación.

### **3.1.3 Densidad vehicular**

Para utilizar el método de predicción de ruido el método Calculation of Road Traffic Noise, se realizó conteo vehicular por hora intersemanal entre los meses de julio a diciembre. Este conteo tuvo una duración de 15 minutos, se hicieron 7 repeticiones por cada día de la semana. En la Tabla 13, se muestra el conteo de vehículos por zona de estudio.

### a) Volumen vehicular

Los vehículos están determinados por dos grupos:

- Vehículos livianos: carros particulares, taxis, colectivos pequeños de menos de 3.5 toneladas
- Vehículos pesados: buses, camiones de más de 3.5 toneladas.

**Tabla 12.** *Conteo vehicular en zonas de estudio*

ESTACIÓN	CONTEO DE VEHÍCULOS		
	VEHÍCULOS LIVIANOS	VEHÍCULOS PESADOS	TOTAL
Ejército	368	198	566
Paucarpata	398	154	551
Independencia	386	135	520
Goyeneche	398	104	502
Salaverry	281	125	406
Deán Valdivia	371	13	384
Jerusalén	249	66	315
Peral	243	61	304
Palacio viejo	236	62	298
Ayacucho	221	67	288

**Fuente.** Elaboración propia

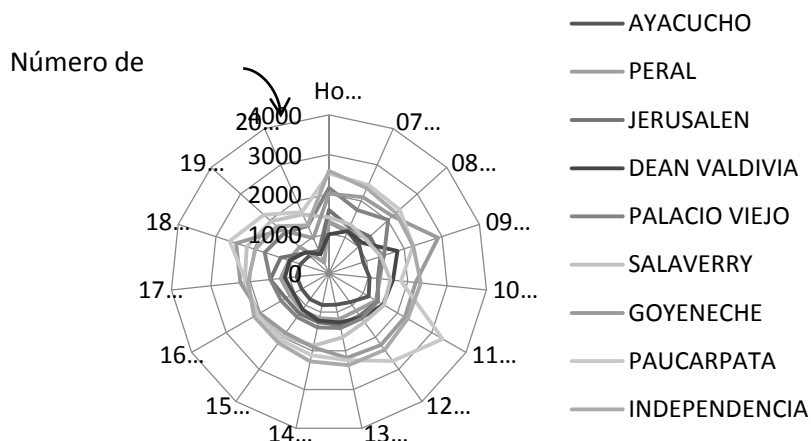
La zona de estudio con alto flujo vehicular es la estación Ejército con 566 vehículos.

La zona de estudio con menor flujo vehicular en 15 minutos es Palacio Viejo con 298 vehículos.

### b) Tráfico mixto en zonas de estudio

Todos los métodos de tráfico rodado al igual que el método utilizado en esta investigación son basados en el flujo vehicular mixto (pesados y livianos). En la Figura 8, se detalla el flujo vehicular en el intervalo de hora desde las 7:00 hasta las 21:00 horas.

**Figura 6. Tráfico mixto por zona**



**Fuente:** Elaboración propia

Las horas con más tráfico son las 8:00 a.m. y 18:00 p.m.

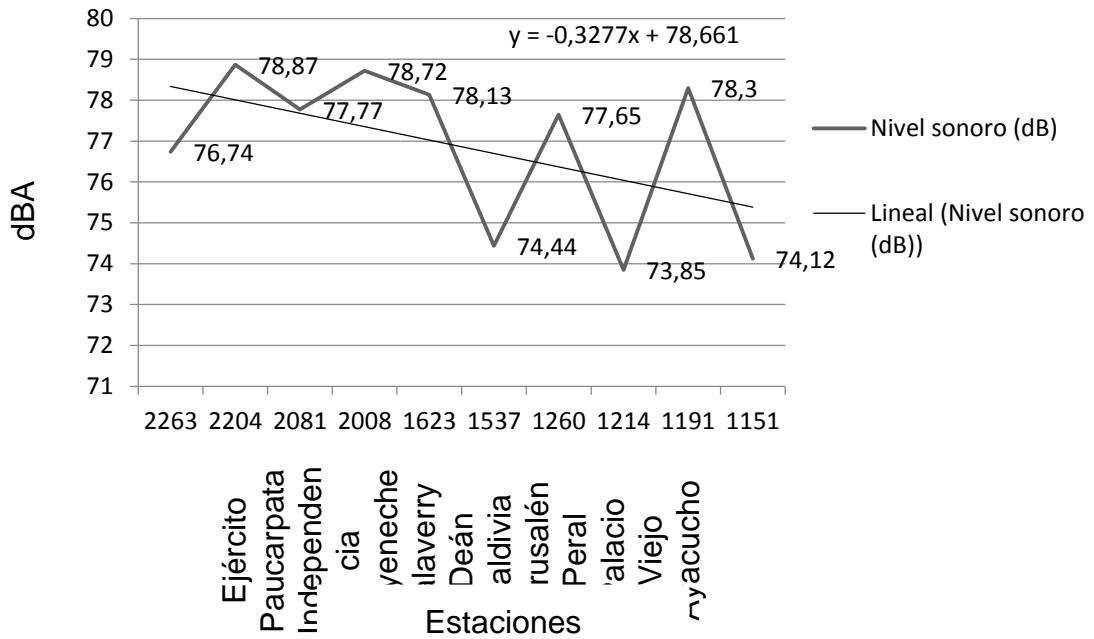
A partir de las 7:00 a.m. las avenidas empiezan a tener un considerable flujo vehicular. Según la Figura 8 la hora pico se muestra a las 8:00 a.m., el flujo es constante desde las 12:00 p.m. hasta las 17:00 horas; desde las 18:00 horas el flujo vehicular aumenta, por esto a ello se considera hora pico.

### 3.1.4. Determinación de tendencias

Las mediciones se hicieron por un intervalo de 10 minutos de acuerdo a la NTP 854.001-2 Acústica, Métodos para el registro del nivel de presión sonora Parte 2. Con la finalidad de obtener una base unificada, se elaboró gráficos estadísticos con el instrumento informático Excel como muestran las Figura 9,10 y 11 donde también se agregaron líneas de tendencia lineal, exponencial y logarítmica. En el eje abscisas número de vehículos de mayor a menor de acuerdo a la metodología estadístico matemático, el eje de las ordenadas anuncia el nivel sonoro.

### A. Tendencia Lineal

**Figura 7** Tendencia lineal

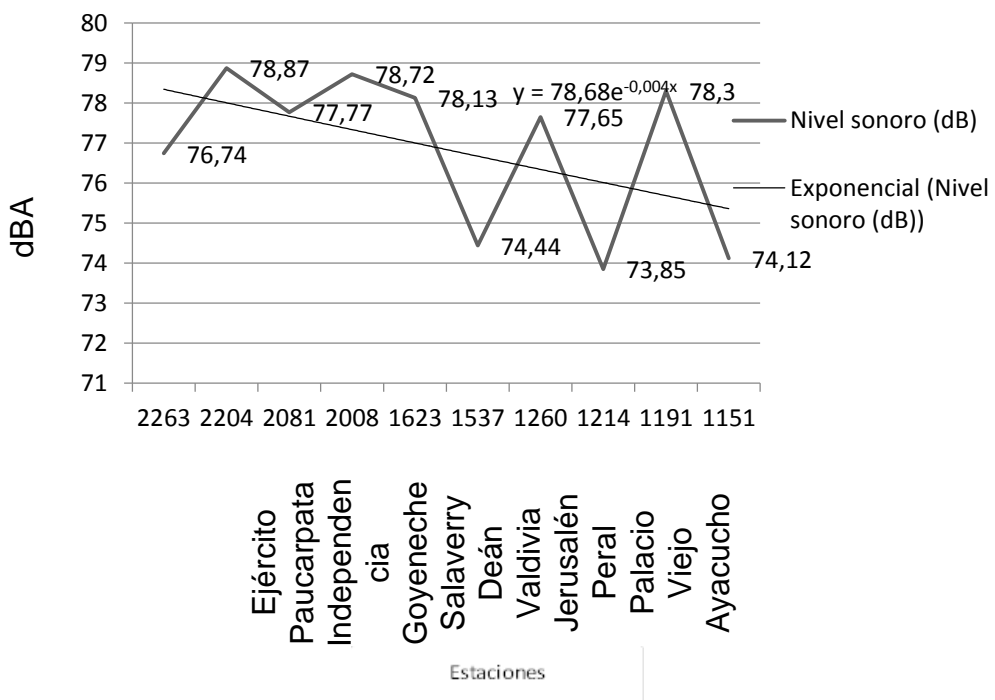


**Fuente:** Elaboración propia

Los datos de mediciones y conteo vehicular no muestran un buen ajuste a la línea de tendencia

### B. Tendencia exponencial

**Figura 8.** Tendencia lineal



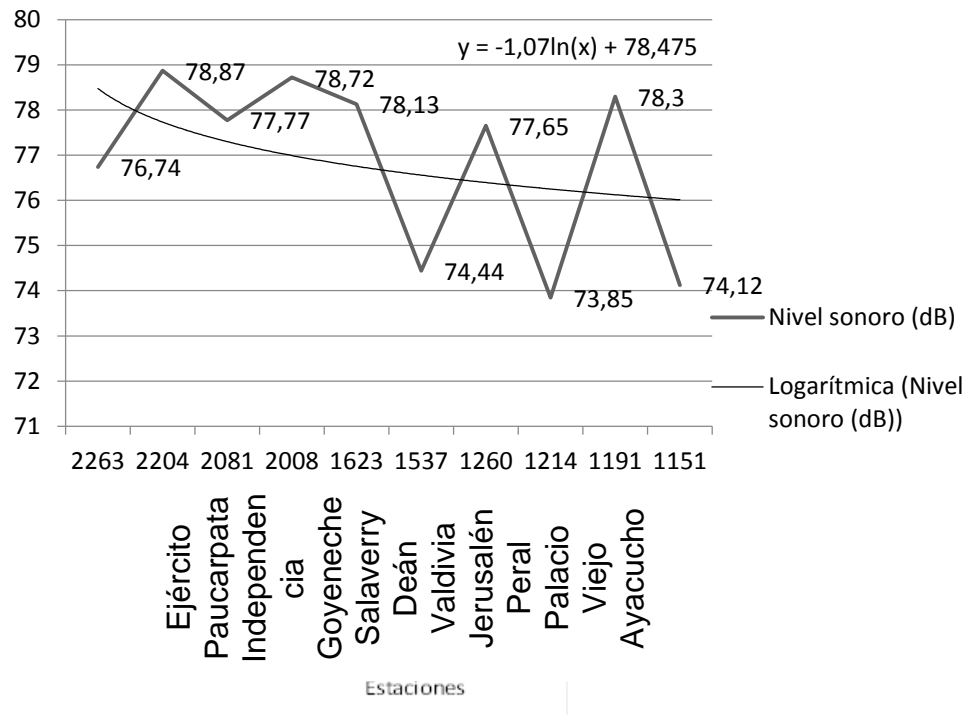
**Fuente.** Elaboración propia

Los datos de mediciones y conteo vehicular no muestran un buen ajuste a la línea de tendencia



### C. Tendencia logarítmica

**Figura 9. Tendencia lineal**



**Fuente.** Elaboración propia

Los datos de mediciones y conteo vehicular no muestran un buen ajuste a la línea de tendencia

Los coeficientes de tendencia lineal, exponencial y logarítmica se detallan en la Tabla 13.

**Tabla 13. Coeficientes de correlación**

Tendencia	Coefficiente de correlación
Lineal	0.2526
Potencial	0.2542
Logarítmica	0.1577

**Fuente:** Elaboración propia

Ninguno de los coeficientes de correlación es cercano a 1 o -1

De acuerdo a los datos de la Tabla 13, no existe correlación de los datos de las estaciones debido a que todas no tienen las mismas características; es decir, las vías de ancho no son equiparables en estaciones como

Ejército, Salaverry, Independencia y Goyeneche a diferencia de Jerusalén, Ayacucho, Peral, Deán Valdivia y Palacio Viejo.

### 3.1.4. Aplicación del método CoRTN y comparación con los niveles sonoros monitoreados

De acuerdo a las mediciones de nivel sonoro en las estaciones denominadas como medición de monitoreo, se comparó con el método Calculation of Road Traffic Noise determinando un porcentaje de error como muestra la Tabla 14.

**Tabla 14.** Comparación entre nivel monitoreado y método aplicado

Estación	Nivel sonoro dB A	Nivel sonoro CoRTN (dB A)	Error %
Ejército	76.74	88.93	15.88
Paucarpata	78.87	87.8	11.32
Independencia	77.77	88.49	13.78
Goyeneche	78.72	82.16	4.37
Salaverry	78.13	84.93	8.7
Deán Valdivia	74.44	77.53	4.15
Jerusalén	77.65	85.28	9.82
Peral	73.85	81.46	10.3
Palacio viejo	78.3	86.06	9.91
Ayacucho	74.12	78.79	6.3
			9.45

**Fuente:** Elaboración propia

Estaciones con mayor porcentaje de error: Ejército, Paucarpata y Goyeneche

Las mediciones por estación y hora se encuentran en el *Anexo 4*. La estación que posee el mayor porcentaje de error es de la avenida Ejército, siendo su nivel sonoro 76.74 dBA, el nivel calculado con el método de CoRTN es mucho mayor, debido al método utilizado toma factores como: el número de vehículos livianos, pesados, velocidad, porcentaje de vehículos pesados; esta estación tiene el más alto flujo vehicular.

La estación Independencia es la segunda estación con mayor porcentaje de error con el nivel sonoro de 77.77 dBA el nivel calculado de CoRTN también es mayor debido que este modelo no cuenta con factores

como el ancho de la vía; además, se encuentran áreas verdes como el Parque Universitario.

La estación Deán Valdivia, Jerusalén y Ayacucho son las que más se ajustan al método CoRTN.

### 3.1.5. Determinación de la constante Arequipeña

Para establecer una constante en el Centro Histórico de Arequipa, en la Tabla 15 se calculó la diferencia entre el nivel sonoro experimental y el nivel sonoro calculado obtenido de la aplicación de la ecuación de CoRTN. Se promediaron los valores obtenidos de la diferencia entre los dos niveles sonoros. El valor resultante se restó a la fórmula de CoRTN obteniendo el nivel de presión sonora corregida y finalmente se calculó el error porcentual II.

**Tabla15.** Comparación entre el nivel monitoreado y el método aplicado

Estación	Nivel sonoro dB A	Nivel sonoro CoRTN (dB A)	Error %	$\Delta$ (Nivel sonoro – nivel sonoro CoRTN)	Nivel sonoro corregido dBA	Error II %
Ejército	76.74	88.93	15.88	12.2	81.65	6.19
Paucarpata	78.87	87.8	11.32	8.9	80.52	1.9
Independencia	77.77	88.49	13.78	10.7	81.21	4.22
Goyeneche	78.72	82.16	4.37	3.4	74.88	5.08
Salaverry	78.13	84.93	8.7	6.8	77.65	0.82
Deán Valdivia	74.44	77.53	4.15	3.1	70.25	5.84
Jerusalén	77.65	85.28	9.82	7.6	78.00	2.19
Peral	73.85	81.46	10.3	7.6	74.18	0.23
Palacio viejo	78.3	86.06	9.91	7.8	78.78	0.41
Ayacucho	74.12	78.79	6.3	4.7	71.51	3.73
			9.45	7.28		3.06

**Fuente:** Elaboración propia

La estación Ejército con mayor índice de error disminuye a 6.19, la estación con menor porcentaje de error es la de Peral

El promedio establecido entre la diferencia del nivel sonoro monitoreado y el nivel sonoro determinado por el método CoRTN es 7.28 dBA que viene a ser la constante Arequipeña.

Para estaciones como Ejército, Independencia, Paucarpata, Salaverry y Peral tienen una vía considerablemente amplia presentan una gran

variación de error porcentual II con respecto al error porcentual I, por lo que la constante Arequipeña obtenida toma en cuenta factores como el ancho de vía y área verde que disipan el ruido obteniendo una reducción de porcentaje de error.

Las estaciones Palacio Viejo y Goyeneche son estaciones que se encuentran en una pendiente como factor lo que provoca que haya un aumento de nivel sonoro producido por la aceleración de los vehículos, siendo este factor no considerado.

### 3.1.6. Segregación de datos por estación diferenciados por turnos: mañana, tarde y noche

Con la finalidad de tener resultados más representativos se separaron los datos de nivel sonoro en dB A, número de vehículos: livianos y pesados por hora y cada turno: mañana, tarde y noche (Anexo 5). Las Tablas 16, 17 y 18 muestran datos por horario y estación aplicando el método CoRTN y la representación gráfica de las Figuras 12,13 y 14.

**Tabla 16.** Resultados de la aplicación del Método CoRTN (mañana)

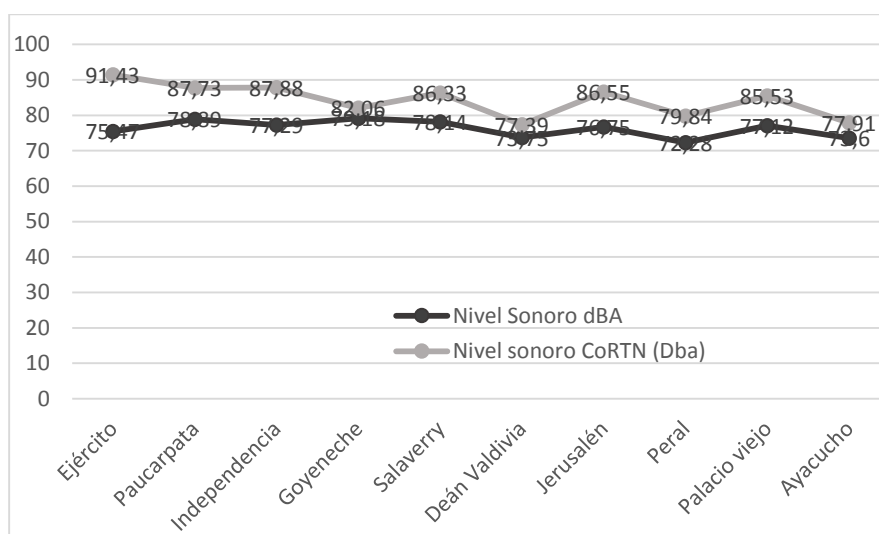
Estación	Nivel sonoro dBA	Nivel sonoro CoRTN (dBA)	Error %
Ejercito	76.86	90.14	17.29
Paucarpata	79.03	88.22	11.62
Independencia	78.70	89.07	13.18
Goyeneche	79.42	82.99	4.50
Salaverry	78.02	84.47	8.26
Deán Valdivia	74.67	77.81	4.20
Jerusalén	77.78	85.44	9.85
Peral	74.37	82.57	11.03
Palacio viejo	79.22	86.02	8.59
Ayacucho	74.59	78.25	4.91
			9.34

**Fuente.** Elaboración propia

Turno mañana: 7:00 a.m. a 12:00 p.m.

%Error más alto son de las estaciones Ejército, Paucarpata e Independencia

**Figura 10. Comparación del nivel CoRTN monitoreado en el turno mañana**



**Fuente.** Elaboración propia

Turno mañana: 7:00 a.m. a 12:00 p.m.

Los datos con menor diferencia son Ayacucho, Deán Valdivia e Goyeneche

**Tabla 17. Resultados de la Aplicación del Método CoRTN (tarde)**

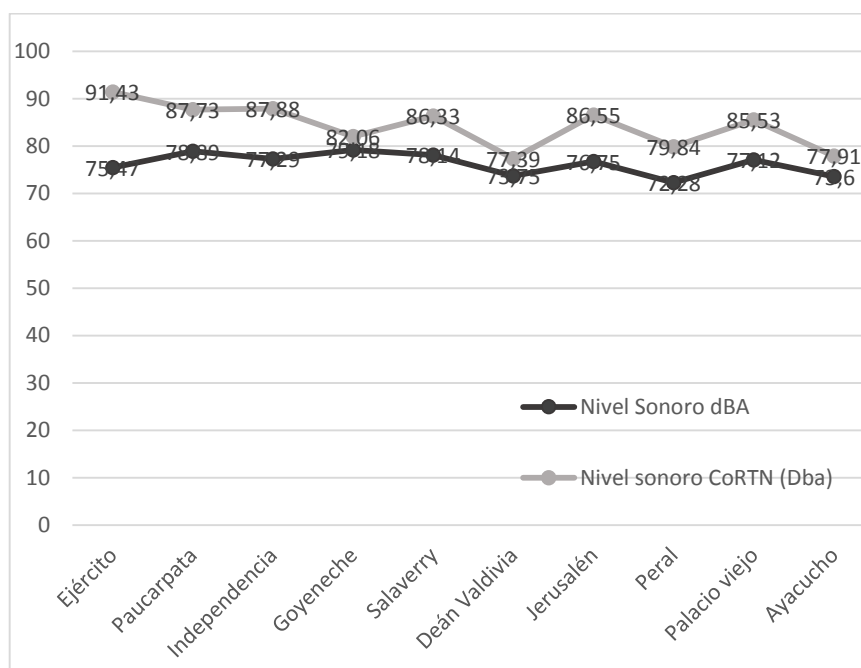
Estación	Nivel sonoro dBA	Nivel sonoro CoRTN (dBA)	Error %
Ejército	77.5	89.96	16.08
Paucarpata	78.72	88.04	11.83
Independencia	77.31	88.84	14.92
Goyeneche	77.84	82.44	5.92
Salaverry	78.2	85.49	9.33
Deán Valdivia	74.11	77.33	4.34
Jerusalén	78.06	86.94	11.38
Peral	73.97	81.61	10.33
Palacio Viejo	78.23	86.15	10.13
Ayacucho	74.04	78.51	6.04
			10.03

**Fuente.** Elaboración propia

Turno tarde: de 12:pm a 18:00 pm

%Error más alto son de las estaciones: Ejército, Paucarpata e Independencia.

**Figura 11. Comparación del Nivel CoRTN monitoreado en el turno tarde**



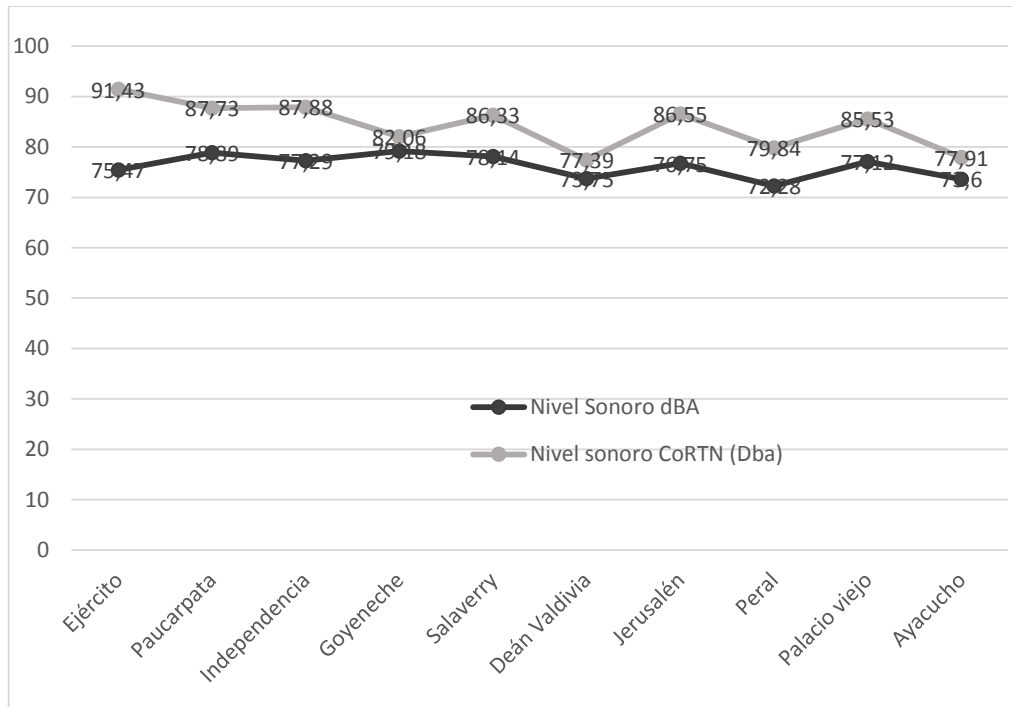
**Fuente.** Elaboración propia  
 Turno tarde: 12:00 p.m. a 18:00 p.m.  
 Los datos con menor diferencia son Ayacucho, Deán Valdivia y Goyeneche

**Tabla 18. Resultados de la aplicación del Método CoRTN (noche)**

Estación	Nivel sonoro dBA	Nivel sonoro CoRTN (dBA)	Error %
Ejercito	75.47	91.43	21.14
Paucarpata	78.89	87.73	11.21
Independencia	77.29	87.88	13.71
Goyeneche	79.18	82.06	3.64
Salaverry	78.14	86.33	10.48
Deán Valdivia	73.75	77.39	4.93
Jerusalén	76.75	86.55	12.76
Peral	72.28	79.84	10.46
Palacio Viejo	77.12	85.53	10.91
Ayacucho	73.6	77.91	5.86
			10.51

**Fuente.** Elaboración propia  
 Turno noche 18:00 p.m. a 21:00 p.m.  
 %Error más alto son de las estaciones Ejército, Paucarpata e Independencia

**Figura 12.** Comparación del nivel CoRTN monitoreado en el turno noche



**Fuente.** Elaboración propia

Turno noche 18:00 p.m. a 21:00 p.m.

Los datos con menor diferencia son: Ayacucho Deán Valdivia y Goyeneche

### 3.1.7. Tratamiento estadístico de validación de datos

Para esta investigación, se estableció un intervalo de confianza del 95% junto con un 5% de significancia. Para validar los datos fueron separados para cada día de la semana en cada una de las estaciones y mediante la herramienta informática Excel se calculó la desviación estándar y el cinco por ciento de la media como muestra la Tabla 19.

**Tabla 19.** *Resultados de validación de datos*

<b>Estaciones</b>	<b>Desviación</b>	<b>5% de la media</b>
Ejército	0.42	3.83
Paucarpata	0.59	3.88
independencia	1.02	3.92
Goyeneche	0.40	3.93
Salaverry	0.48	3.89
Deán Valdivia	1.26	3.67
Jerusalén	1.25	3.84
Peral	1.38	3.64
Palacio Viejo	1.30	3.87
Ayacucho	1.17	3.67

**Fuente:** Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 19, ningún valor de la desviación estándar en cada una de las estaciones excede el 5 % de la media; esto quiere decir que los datos de las mediciones realizadas en el periodo 2015 están dentro del intervalo de confianza (95%) establecido para esta investigación, por lo que son considerados válidos.

### **3.1.8 Tratamiento estadístico: Regresión lineal**

Para la realización del estudio se identificó que el número de vehículos es el factor que más influencia tiene en la contaminación acústica con respecto al comercio, por el cual se utilizó el método estadístico – matemático para determinar la ecuación predictiva en función al número de vehículos. En la aplicación de la regresión lineal, se determina en la Tabla 20 los coeficientes de correlación para cada estación



**Tabla 20.** *Coefficientes de correlación de Pearson para cada estación*

<b>. Estación</b>	<b>Coefficiente de correlación (Pearson)</b>
Ejército	0.53
Paucarpata	0.41
Independencia	0.71
Goyeneche	0.44
Salaverry	0.78
Deán Valdivia	0.72
Jerusalén	0.48
Peral	0.48
Palacio viejo	-0.23
Ayacucho	0.69

Fuente: Elaboración propia

La mayor correlación se encuentra en la estación Salaverry, es la que se ajusta más a una línea recta; es decir, existe una mayor dependencia entre las variables, pero el valor no es cercano a 1 o -1 lo que indicaría que no existe regresión lineal ni dependencia en sus variables.

### **3.1.9. Linealización de una función no lineal**

Con el fin de obtener una ecuación predictiva de nivel sonoro equivalente medida en dB A, una hora específica para el Centro Histórico de Arequipa (desde las 7:00 a.m. hasta 21:00 p.m.) para cada estación (Anexo 7), se promedió el valor de nivel sonoro y número de vehículos a cada hora mediante el método estadístico-matemático; mediante los valores segregados como muestra la Tabla 21, mediante las ecuaciones 15,16 y 17.



**Tabla 22.** Error porcentual para cada estación

<b>Estación</b>	<b>ERROR (%)</b>
Ejercito	3.83
Paucarpata	2.24
Independencia	4.22
Goyeneche	0.72
Salaverry	1.21
Deán Valdivia	4.06
Jerusalén	2.05
Peral	2.73
Palacio viejo	3.13
Ayacucho	0.19
<i>PROMEDIO</i>	2.23

**Fuente:** Elaboración propia

La estación Independencia tiene el más alto índice de error

Estaciones como Ejército, Peral e Independencia, son estaciones que sufren embotellamientos, volviendo el tipo de circulación inestable. Asimismo, a veces nos vemos obligados a circular a bajas velocidades o detenernos de manera prolongada, generando el uso inadecuado del claxon, por la amplitud de la vía que no está considerada en la ecuación por esta razón existe un porcentaje de error; además, la estación Deán Valdivia tiene elevado índice de error ya que el silbato de la policía no está considerado en la ecuación.

### **3.1.10. Mapa de ruido**

Uno de los objetivos fue identificar el efecto del ruido producido por fuentes móviles con el modelo matemático representado mediante mapas estratégicos a través del método de kriging que estima los valores de autorrelación espacial y cuantifica la estructura que se ajusten a datos de dependencia espacial, a partir de las mediciones de ruido realizadas desde 2008, 2014, 2015 y la predicción para el año 2025 (*Anexo 8*).

➤ Análisis de mapa

El mapa de ruido fue realizado por horario diurno por el mayor flujo vehicular y conforme a la base de datos de mediciones.

Según el INEI para el 2025 la población será 1,427,001 habitantes y el número de vehículos será 262 289 este valor se duplica en la Tabla 23 que muestra los datos de predicción en cada vía. Los mapas de ruido muestran la situación acústica a partir de 2008.

**.Tabla 23. Predicción**

<b>Estaciones</b>	<b>2025 nivel sonoro (dB A)</b>
Ejército	81.90
Paucarpata	81.76
Independencia	81.45
Goyeneche	81.30
Salaverry	80.14
Deán Valdivia	79.84
Jerusalén	78.80
Peral	78.54
Palacio viejo	78.40
Ayacucho	78.27

**Fuente:** Elaboración propia

Según los datos obtenidos el Centro Histórico de Arequipa mediante los mapas estratégico, el nivel sonoro sería muy alto y afectaría la calidad de vida de las personas que transitan y trabajan en estas zonas.

### **3.1.11. Software de predicción**

El software utilizado fue Excel mediante hojas macro que mediante el modelo matemático obtenido se obtuvo el nivel sonoro. La Figura 13 muestra la hoja macro, tiene insertada:

Controles de formulario que contiene el tipo de zonas de acuerdo al Reglamento de estándares de calidad para ruido; además, tipo de zona, horario de medición y el número de vehículos que ingresados (pesados y livianos).El modelo matemático obtenido dará como resultado el nivel

sonoro estimado; en consecuencia, se insertó barras de colores (rojo y verde) los cuales indican si el nivel sonoro sobrepasa el estándar de calidad ambiental para ruido, determinándola como zona ruidosa y zona no ruidosa. Se utilizó la función “SI” que es de gran ayuda para tomar decisiones en base al resultado obtenido en la prueba lógica, además se inserta controles de formulario botón de opción, cuadro de lista.

- =SI (I10=1, “HORARIO DIURNO”, “HORARIO NOCTURNO”)
- =SI (I5=1, SI(I10=1,50,40),SI(I5=2,SI(I10=1,60,50),SI(I5=3,SI(I10=1,70,60),SI(I5=4,SI(I10=1,80,70))))))
- =40.84+12.31\*LOG10(D15)
- SI(D17>=D12, “ZONA RUIDOSA”, “ZONA NO RUIDOSA”)

**Figura 13. Hoja macro utilizada**

**RUIDO PRODUCIDO POR FUENTES MOVILES**

Ingrese nombre de calle o avenida

Calle  Avenida

-----

Elige la zona que corresponde según DS N° 085-PCM-2003

Zona Residencial

Poner hora de medición

Elige el rango de horario de medición

De 7:00am a 10:00pm  De 10:01pm a 6:59

HORARIO NOCTURNO

ECA(dB)= 50

Ingrese N° de vehiculos 1258

CALCULAR

$Leq(1\ Hora) = 79,00\text{ dB}$

ZONA RUIDOSA

**Fuente:** Elaboración propia

La Figura 14 muestra la macro utilizada para la proyección del nivel sonoro hasta el 2025. La función INDICE en Excel ayuda a obtener el valor de una celda dentro de una matriz especificando el número de fila y columna. Esta función tiene dos formas de uso: de forma matricial y de forma de referencia, además del uso de botones para graficar y cancelar que son parte de la macro.

**Figura 14** Hoja macro utilizada

PREDICCIÓN DE RUIDO PRODUCIDO POR FUENTES MÓVILES EN EL CENTRO DE AREQUIPA

AÑO 2014

ESTACIONES

ESTACIONES	AÑO
EJERCITO	78,45 dB
PAUCARPATA	78,30 dB
INDEPENDENCIA	78,00 dB
GOYENECHÉ	77,84 dB
SALAVERRY	76,69 dB
DEAN VALDIVIA	76,38 dB
JERUSALEN	75,35 dB
PERAL	75,09 dB
PALACIO VIEJO	74,95 dB
AYACUCHO	74,81 dB

VER GRAFICO

CANCELAR

**Fuente:** Elaboración propia

## CONCLUSIONES

PRIMERA: Se estableció el método CoRTN para estimar el nivel sonoro en zonas críticas del Centro Histórico de Arequipa obteniendo la ecuación  $Leq_{(1hora)} = 40.84 + 12.31 \log Q$  que ayudará a medir el nivel sonoro mediante el logaritmo de flujo vehicular promedio que transita en una vía.

SEGUNDA: Se identificó el error entre el método CoRTN y el modelo matemático obteniendo 3.06% y 2.23% respectivamente; siendo menor el error del modelo matemático.

TERCERA: Se estableció la relación entre ruido ambiental y conteo vehicular mediante la linealización obteniendo 88.46 % de dependencia lineal entre ambas variables.

CUARTA: Se modeló el ruido ambiental de fuentes móviles con el modelo matemático obtenido en el Centro Histórico de Arequipa, 2015, que ayudará a identificar el alto nivel sonoro mediante la proyección al año 2025 con mapas estratégicos.

## **RECOMENDACIONES**

PRIMERA: Para una mejor determinación de tendencias, agrupar estaciones de monitoreo que posean características similares.

SEGUNDA: En futuros estudios, aplicar metodología establecida en esta investigación utilizando la mayor cantidad de variables como ancho de vía, para añadir en la ecuación.

TERCERA: Aumentar el número de estaciones en la jurisdicción de Arequipa que reflejen la real situación con la finalidad de agrandar la base de datos.

CUARTA: Realizar mayor cantidad de monitoreos y mediciones sobre las estaciones ya establecidas en este estudio para poder validar la ecuación establecida.

QUINTA: Se recomienda a la unidad ejecutora (municipalidad provincial) junto a la policía nacional realizar un plan de acción para poder ejercer un mejor control de ruido ambiental producido por el tráfico vehicular.



## BIBLIOGRAFÍA

- Antillanca, P. Influencia de la actividad turística en el ruido ambiental de una ciudad pequeña. Caracterización acústica de Castro. Valdivia, Chile, 2005.
- Arahall M., Berenguel M., Rodríguez F., Técnicas de predicción con aplicaciones en ingeniería, universidad de Sevilla. Sevilla, España, 2006 pp 46-65.
- Besnard, F., Hamet J., Lelong J., Le duc E., Guizard V., Furst N., Doisy, Methodologic guide Road noise prediction 1 - Calculating sound emissions from road traffic, 2009 junio, pp 5-11.
- Barti R., Acústica Ambiental, Vol 1, España, 2010, pp 231-276
- Brüel & Kjaer; Instruction Manual: Integrating Sound Level Meter Type 2225; Dinamarca, 1980.
- Calixto, A. Fabiano, B. Paulo, H. Zannin. The statistical modeling of road traffic noise in an urban setting. En: Cities. Vol 20, No.1 (feb, 2003); p. 23-29
- Daniele, D., Aplicación de sistemas de información geográfica al estudio de acuíferos complejos, caso del campo de Dalías, Tesis doctoral, España, 2007
- Department of Transport, Calculation of Road Traffic Noise. London: Welsh Office, 1988.
- Dirección general del medio ambiente de la comisión europea., Libro verde sobre la política futura de lucha contra el ruido. Bruselas - Bélgica. 1996
- Duque M., Ladino E., Modelación matemática de ruido por el tráfico en seis puntos ubicados en Pereira, Colombia, 2007.
- Environmental Protection Agency [EPA]. Guidance note for strategic noise mapping. Environmental Noise Regulations, Versión 2, Wexford, Ireland: EPA, 2011.
- González, A., Contaminación sonora en ambiente urbano: optimización de un modelo del tiempo de muestreo en Montevideo y desarrollo de un modelo predictivo en un entorno atípico. Montevideo, Colombia, 2000.
- González, A., Evaluación de impacto acústico: Modelos Predictivos sencillos que podrían dar complicaciones. Uruguay. 2005
- González, E. Contaminación Sonora en ambiente urbano: Optimización del tiempo de muestreo en Montevideo y desarrollo de un modelo predictivo en un entorno atípico. Montevideo, Tesis Doctoral. Universidad de la República Oriental del Uruguay, 2000

- Gómez., S., Chamorro, A., & Orozco, D. (2012). Modelo para la representación de los mapas estratégicos de ruido ambiental y tráfico rodado, Trabajo de grado, Universidad Santiago de Cali: Colombia pp 43-58.
- Harris, C. M. Manual de medidas acústicas y control del ruido Vol I. Madrid: MacGraw-Hill, 1995. p1328.
- Jiménez E., La contaminación ambiental en Mexico : causas, efectos y tecnología apropiada, Editorial Limusa, Mexico, 2001, pp 583-591
- Journel, A.G. & Huijbregts, J. Mining geostatistics. New York, NY: Academic Press, 1978
- Kogan, P., Análisis de la Eficiencia de la Ponderación "A" para evaluar efectos del ruido en el ser humano. Valdivia: Universidad Austral de Chile, Escuela de Ingeniería Acústica, 2004.
- Krauss, F., Metodología para la evaluación del ruido por tráfico vehicular en zonas urbanas: aplicación a la comuna de Santiago. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile. 2003
- M.,García E., Cepeda J., Búrdalo G., de Barrios M. *Modelo de predicción de ruido adaptado a variables .Aplicación a la ciudad de León*, 2008, España
- MINSA-Gersa, "El Ruido Ambiental en la ciudad de Arequipa y su incidencia en la Salud de la población más expuesta", 2008.
- Nel Quezada, Lucio., Metodología de la investigación: estadística aplicada a la investigación, 1ª Edición, alfa omega-macro, 2010.
- Peña, J., Algoritmo de predicción de ruido de tráfico rodado aplicado en la autopista norte entre la calle 127 hasta la calle 168, Trabajo de grado, Universidad San Buenaventura, Bogotá, 2012.
- Pérez de Siles, A. , Aplicación informática orientada a la formación y evaluación de riesgos derivados de la exposición a ruido en ambientes industriales, 2001.
- Recuero M., Suarez E., Contaminación atmosférica, Ediciones Universidad Castilla -La Mancha, 1ª Edición , 2004, Capitulo 4 pp. 252-261
- Seoanez M., Ecología Industrial. 2da Edición. Ediciones Mundi - Prensa. España , 1998.
- Zuluaga, C., " Un aporte a la gestión del ruido urbano en Colombia, caso de estudio: Municipio de Envigado" , trabajo de investigación, Colombia, 2009


## Páginas web

- 30 de diciembre del 2015, Parque automotor en Arequipa creció en 7%, *Rpp*, Recuperado el 6 de enero del 2016 de <http://rpp.pe/peru/actualidad/parque-automotor-en-arequipa-crecio-en-7-noticia-755069>.
- 2013, Junio 4, Contaminación sonora en Arequipa subió 20% ocasionando males. *La República*, recuperado 11 de marzo 2016 de <http://larepublica.pe/04-06-2013/contaminacion-sonora-en-arequipa-subio-20-ocasionando-males>
- Arrieta H., Flujo Vehicular. El tránsito vehicular, también llamado tráfico vehicular, S.f, Recuperado el 5 de abril de [https://www.academia.edu/8263843/Flujo\\_Vehicular.\\_El\\_tr%C3%A1nsito\\_vehicular\\_tambi%C3%A9n\\_llamado\\_tr%C3%A1fico\\_vehicular](https://www.academia.edu/8263843/Flujo_Vehicular._El_tr%C3%A1nsito_vehicular_tambi%C3%A9n_llamado_tr%C3%A1fico_vehicular)
- 26 de Septiembre de 2014, Ubican puntos críticos de contaminación auditiva, *El Pueblo*, Recuperado 3 de febrero de <http://elpueblo.com.pe/noticia/locales/ubican-los-puntos-criticos-de-contaminacion-auditiva>
- Queensland government “State of the environment Prague 1999”(1999) Recuperado 10 de abril del 2016 de [http://www.derm.qld.gov.au/environmental\\_management/state\\_of\\_the\\_environment/state\\_of\\_the\\_environment\\_1999/main\\_report.html](http://www.derm.qld.gov.au/environmental_management/state_of_the_environment/state_of_the_environment_1999/main_report.html)
- Levantamiento de información de entrada de modelo de predicción de ruido y aplicación de caso piloto, Conama, Gobierno de Chile, 2008, Octubre. Recuperado 4 junio del 2016 [http://www.sinia.cl/1292/articles-52653\\_Fase\\_I\\_LevantamientoInformacion.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-52653_Fase_I_LevantamientoInformacion.pdf)
- Evaluación rápida para determinar el grado de contaminación acústica o sonora, realizada en siete ciudades del país: Lima, Callao, Maynas Loreto, Ucayali, Junín, Huánuco, Cuzco y Tacna, OEFA, 2010, Recuperado 8 de febrero del 2016 de [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=1934](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=1934)
- (Miyara F, S.f.) La Naturaleza del sonido Recuperado el 12 de febrero 2016 <http://www.guemisa.com/articul/pdf/sonido.pdf>
- Gonzales A.,s.f, Evaluación de impacto acústico: Modelos predictivos sencillos que podrían dar complicaciones, Recuperado el 15 de marzo del 2016 de <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/gonzalez2005.pdf>

- Statens Planverk 48, Nordic Countries. 1996. Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise. 1996. Método nacional de cálculo de los Países Nórdicos. Recuperado 8 de enero del 2016). [http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/1996-525/at\\_download/publicationfile](http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/1996-525/at_download/publicationfile)).
- Ruido del tráfico rodado.. El método nacional de cálculo francés, mencionado en el «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6, 10 de Mayo 1995., Recuperado 15 de agosto de 2016 [http://www.setra.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/US\\_09572A\\_Road\\_noise\\_predictionDTRF.pdf](http://www.setra.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/US_09572A_Road_noise_predictionDTRF.pdf))
- Pauly, D., Rome, 1983© FAO, recuperado 12 de marzo del 2016 de <http://www.fao.org/docrep/003/X6845S/X6845S00.htm#toc>)
- Sonómetro, S.f Recuperado 4 de marzo del 2016 <https://es.wikipedia.org/wiki/Son%C3%B3metro>)
- RLS, 1990. Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen. BM für Verkehr, Bonn, 1990.
-

# ANEXOS

### Anexo 1 Descripción del sonómetro

<b>MARCA</b>	CIRRUS	
<b>MODELO</b>	CIRRUS:822C	
<b>ESCALA DE MEDICION</b>	40-110 dB	
<b>ESCALA DE FRECUENCIA</b>	500 Hz-8kHz	
<b>PONDERACION</b>	A y C	
<b>TIEMPO DE RESPUESTA</b>	Slow y Fast	
<b>RANGO DINAMICO</b>	94 dB	
<b>RESOLUCION DE PANTALLA</b>	0.1 dB	
<b>RANGO DE ERROR</b>	-1.5	

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 2 Calibración de sonómetro



Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”  
Año de la Promoción de la Industria Responsable y del Compromiso Climático”



## Certificado de Calibración

### LAC - 085 - 2014

Laboratorio de Acústica

Expediente	<b>80164</b>	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)
Solicitante	<b>MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE AREQUIPA</b>	
Dirección	<b>Calle Filtro 501 - Arequipa</b>	El SNM custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la Metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de medida del Perú. (SLUMP).
Instrumento de Medición	<b>Sonómetro</b>	
Marca	<b>CIRRUS</b>	
Modelo	<b>CR:822C</b>	
Procedencia	<b>EU</b>	
Resolución	<b>0,1 dB</b>	
Clase	<b>2</b>	Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.
Número de Serie	<b>D20962FB</b>	
Micrófono	<b>MK216</b>	
Serie del Micrófono	<b>112531</b>	
Fecha de Calibración	<b>2014-12-01 al 2014-12-02</b>	

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización del Servicio Nacional de Metrología.

Certificados sin firma y sello carecen de validez.

Fecha Responsable del Área de

Responsable del laboratorio Electricidad y Temperatura



EDWIN FRANCISCO GUILLEN MESTAS

HENRY DIAZ/CHONATE

Anexo 3 Datos meteorológicos (Senamhi)-Estación La Pampilla

JULIO					
Dia	Humedad relativa(%)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media(°C)	Temperatura media(°C)	Velocidad del viento(m/s)
1	33	23.8	8	15.8	2.7
2	36	24	7.4	15.1	3.7
3	34	23.2	8.4	15.5	4
4	47	24.8	11.4	17.2	3.7
5	49	21.4	10.4	15.3	3
6		21.6	5.9	13.5	2.3
7		21.8	4.9	13.1	2
8		24.2	5.4	14.8	2.3
9		23.6	5.6	14.6	2.7
10		23.4	4.8	14.1	2.3
11	30	24.6	5.4	14.9	2.7
12	43	23	5	14.1	3
13	37	21.2	4.9	13	2.7
14	38	19.8	5.4	12.8	2.7
15	43	23.2	5	13.9	2.7
16	37	24.2	6.6	15	3
17	37	25.8	7	16.4	2.3
18	31	25.6	7.4	16.3	2.7
19	42	24.2	7.8	15.7	2
20	31	25	7.4	15.1	3.3
21	39	23.6	7.6	14	2.3
22	45	24	5.4	14.3	2
23	41	24.6	7.4	16.3	2
24	41	25	9.2	16.3	1.7
25	40	25.6	8.8	17.8	3.7
26		25.4	8.6	17	2.7
27		25.2	8.4	16.8	2.7



<b>28</b>		25.2	9.4	17.3	2.7
<b>29</b>	37	25.4	9	16.5	3
<b>30</b>	41	23.4	8.8	16	3
<b>31</b>	33	24.2	8.2	16.7	2

Fuente: Senamhi

AGOSTO					
Di a	Humeda d relativa( %)	Temperat ura máxima ( <sup>a</sup> C)	Temperatur a media( <sup>a</sup> C)	Tempertur a media( <sup>a</sup> C)	Velocidad del viento(m/s )
<b>1</b>	36	24	8	16.6	1.7
<b>2</b>	34	24.6	7.8	16.8	1.7
<b>3</b>	28	25.8	8.4	18.4	2.7
<b>4</b>	28	26.2	9.2	17.3	3
<b>5</b>	42	26.6	8.8	17.7	2.3
<b>6</b>	32	26.6	7.8	17.1	3
<b>7</b>	42	26.2	9.6	17.5	2
<b>8</b>	33	23.2	8.8	15.2	2.3
<b>9</b>	47	20.4	2.4	12.1	4.7
<b>10</b>	24	24.4	2.6	14.9	3.7
<b>11</b>	41	22	5.2	13.6	3.7
<b>12</b>	34	23.4	8.4	16.7	2
<b>13</b>	31	24.4	10.2	16.8	2.7
<b>14</b>	31	24.6	9.4	17.1	3
<b>15</b>	37	25.4	8.6	17.1	2
<b>16</b>	32	26.2	8.2	17.7	3.7
<b>17</b>	50	26.6	9	17.7	2.7
<b>18</b>	38	24.8	10	17.1	2
<b>19</b>	35	25	9.8	16.7	2
<b>20</b>	34	25.8	9.2	18.1	2.3
<b>21</b>	36	24.6	9	17.9	2.7
<b>22</b>	42	23.4	9.8	16.3	2.7
<b>23</b>	35	25.4	8.6	16.7	2.3
<b>24</b>	40	23.8	7.8	17.1	2
<b>25</b>	35	23.8	8.4	17	2.7

<b>26</b>	34	24.8	9	17.3	3
<b>27</b>	31	25.8	8.6	16.6	3
<b>28</b>	27	25.2	8.8	17.3	3.3
<b>29</b>	37	26.4	10.2	17.7	4.3
<b>30</b>	33	26	9.8	17.5	4.7
<b>31</b>	37	26.4	10	17.7	3.3

Fuente: Senamhi

SETIEMBRE					
Día	Humedad relativa(%)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media(°C)	Temperatura media(°C)	Velocidad del viento(m/s)
1	36	24	24.8	16.9	2
2	39	24.6	25.8	18.3	3.7
3	43	25.8	24.8	18.3	3
4	45	26.2	25.2	18.3	3
5	41	26.6	24	18.1	4
6	41	26.6	25.2	18.2	4
7	39	26.2	24.8	17.1	2.3
8	45	23.2	25.4	16.7	3.3
9	33	20.4	24.8	16.2	3
10	23	24.4	24.6	16.3	3
11	27	22	24.6	15.9	2.3
12	26	23.4	25.6	16.8	2.3
13	26	24.4	26.4	17.6	2.3
14	30	24.6	26	18.6	2.3
15	28	25.4	25.8	18.1	2.3
16	29	26.2	25.2	18.2	2.3
17	41	26.6	25.4	17.5	2.3
18	32	24.8	24.6	18.4	2.3
19	40	25	27.2	19.4	2.3
20	38	25.8	26	18.7	2
21	34	24.6	25.6	18.9	2
22	39	23.4	25.2	17.9	2.3

<b>23</b>	34	25.4	26.4	19.4	2.3
<b>24</b>	38	23.8	25.8	18.5	2
<b>25</b>	37	23.8	26.6	19.3	2.7
<b>26</b>	39	24.8	24.8	17.9	3.3
<b>27</b>	32	25.8	25.6	17.2	3.3
<b>28</b>	45	25.2	26	18.5	3.7
<b>29</b>	31	26.4	23.8	16.9	2.3
<b>30</b>	37	26	24.8	17.2	2.7

Fuente: Senamhi

OCTUBRE					
Día	Humedad relativa(%)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media(°C)	Tempertura media(°C)	Velocidad del viento(m/s)
<b>1</b>	36	36	8.1	17.5	2
<b>2</b>	40	40	11.8	17.9	2
<b>3</b>	39	39	14.8	18.7	4
<b>4</b>	41	41	10.6	18.2	2.7
<b>5</b>	36	36	11.8	18.9	3
<b>6</b>	38	38	10.8	18.6	4.7
<b>7</b>	30	30	9.8	18.9	3.3
<b>8</b>	48	48	9.2	18.2	3.3
<b>9</b>	44	44	8.8	18.1	3
<b>10</b>	38	38	9	17.5	3.3
<b>11</b>	35	35	9.4	18.7	4
<b>12</b>	34	34	8.9	18.5	3.7
<b>13</b>	36	36	7.6	17.2	4
<b>14</b>	36	36	8	17.8	3
<b>15</b>	36	36	7.8	18	2.3
<b>16</b>	36	36	10.4	18.3	4.3
<b>17</b>	38	38	12.4	18.7	3.3
<b>18</b>	42	42	13.2	18.9	3
<b>19</b>	48	48	14.8	19.4	3.3

<b>20</b>	49	49	11.8	19.8	3
<b>21</b>	37	37	10.9	20.1	2
<b>22</b>	38	38	10.6	19.8	3.7
<b>23</b>	40	40	13.2	20.2	3
<b>24</b>	51	51	13	19.4	3
<b>25</b>	48	48	13.8	19.2	3.7
<b>26</b>	51	51	14	20.5	3.3
<b>27</b>	49	49	13.2	19.7	3.7
<b>28</b>	41	41	12.8	19.8	2.3
<b>29</b>	40	40	11.2	18.5	4
<b>30</b>	36	36	10	17.7	2.7
<b>31</b>	45	45	9.4	17.8	3

Fuente: Senamhi

NOVIEMBRE					
Día	Humedad relativa(%)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media(°C)	Tempertura media(°C)	Velocidad del viento(m/s)
<b>1</b>	47	25.2	9.6	17.3	3
<b>2</b>	36	22.6	8.4	16.3	3
<b>3</b>	43	22.6	6.6	16.4	3.3
<b>4</b>	40	25.6	7.6	17.5	3.3
<b>5</b>	36	25.8	8.5	17.4	2.7
<b>6</b>	42	25.8	9	18.4	3.7
<b>7</b>		26	10.2	18.1	3.7
<b>8</b>		26.6	10.4	18.5	2.3
<b>9</b>		24.8	10.2	17.5	2.3
<b>10</b>	38	26.2	11.6	20.1	2
<b>11</b>	41	27	13.2	20.4	3.3
<b>12</b>	27	26.2	13.6	20.5	2
<b>13</b>	42	26.6	12.4	18.8	2.3
<b>14</b>	43	27.2	16.8	22.6	3.3
<b>15</b>	45	27.4	14.8	19.9	3.3
<b>16</b>	36	27.4	11.6	19.4	2.3
<b>17</b>	44	26.4	10.8	18.7	2
<b>18</b>	46	27.2	10.6	19.4	1.7

<b>19</b>	55	25.4	10	18.6	3.3
<b>20</b>	46	24.8	9.2	17.4	3
<b>21</b>	43	25.8	9.6	18.3	2.3
<b>22</b>	42	26.2	11.8	19.3	3
<b>23</b>	46	26	12.4	19.9	2.3
<b>24</b>	51	24.8	12.6	19	4
<b>25</b>	57	25.4	11.4	17.7	3.7
<b>26</b>	62	25.8	11.2	17.9	2.3
<b>27</b>	53	26	12.4	19.8	2.3
<b>28</b>	51	26.6	12	19.5	2
<b>29</b>	47	25.8	11.2	19.4	2.7
<b>30</b>	49	26.2	10.4	18.1	3

Fuente: Senamhi

DICIEMBRE					
Día	Humedad relativa(%)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media(°C)	Tempertura media(°C)	Velocidad del viento(m/s)
<b>1</b>	42	26.2	11.4	19.8	2.3
<b>2</b>	39	26.8	12.6	20.9	2.3
<b>3</b>	42	27.2	12.1	20.7	3.3
<b>4</b>	39	27.6	11.9	20.1	2.3
<b>5</b>	45	26.2	12.4	20.5	3
<b>6</b>		25.8	11.2	18.5	4.3
<b>7</b>		26.4	11.4	18.9	3.3
<b>8</b>		26.8	11.1	19	2.7
<b>9</b>	63	25.6	12.9	18.2	2.7
<b>10</b>	57	26	11.6	19.1	3
<b>11</b>	62	27.6	11.7	20.7	2.3
<b>12</b>	65	27	12.2	19.9	2.3
<b>13</b>	56	27.4	12.8	19.9	3
<b>14</b>		27.8	12	19.9	3.3
<b>15</b>		26.4	11.6	19	3
<b>16</b>		25.2	12.2	18.7	2.3
<b>17</b>		25.8	11.8	18.8	2.3

<b>18</b>	65	26.2	12.4	19.7	3
<b>19</b>	70	26.8	13.2	19.9	2.3
<b>20</b>	68	25.4	12.2	19.1	3.3
<b>21</b>	75	25.8	11.8	18.7	3.3
<b>22</b>	62	26.2	14.2	19.6	2.7
<b>23</b>	57	25.4	14	18.3	2.3
<b>24</b>	57	26.2	14.8	20.1	2.3
<b>25</b>	58	26.8	13.8	18.5	4.3
<b>26</b>	46	27.6	14.4	20.5	2.3
<b>27</b>	61	28.2	14.8	20.7	4
<b>28</b>	39	26.2	12.2	18.3	2.3
<b>29</b>	40	26.8	10.6	18.3	2.3
<b>30</b>	47	27.8	11.4	19.6	2.3
<b>31</b>	40	28.6	11	19.9	3

Fuente: Senamhi

#### Anexo 4 Mediciones por día y hora en cada zona de estudio

<b>ESTACION EJERCITO–MEDICIONES (dB A)</b>							
	<b>LUNE</b>	<b>MARTE</b>	<b>MIÉRCOLE</b>	<b>JUEVE</b>	<b>VIERNE</b>	<b>SABAD</b>	<b>DOMING</b>
	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>O</b>
07:00	78	78.3	78.3	78.2	78.4	77.9	77.1
08:00	76.5	76.6	76.4	76.7	76.6	76.4	76.8
09:00	77.3	77.1	76.9	77	77.2	76.7	76.2
10:00	75.8	75.9	75.6	75.7	75.8	75.4	75.8
11:00	76.6	76.4	76.7	76.6	76.8	76.1	75.9
12:00	77.2	77.2	77	77.4	77.3	76.7	76.1
13:00	76.4	76.6	76.1	76.7	76.8	76.9	76.8
14:00	77	77.1	77	77.2	77	77	76.6

15:00	77.2	77	77.2	77.3	77.1	77.3	77
16:00	78.8	78.7	78.6	78.7	78.8	77.2	76.1
17:00	78.4	78.2	78.3	78.3	78.4	77.5	74.1
18:00	77.2	77.3	77.4	77.6	77.3	77.7	74.3
19:00	74.9	75.1	76.2	76	76.1	76.2	74.8
20:00	74.6	74.5	74.6	74.7	74.6	76.1	73.5
21:00	74.3	74.1	74.2	74.3	74.4	76	73.4

Fuente: Elaboración propia

<b>ESTACION PAUCARPATA- MEDICIONES (dB A)</b>							
	<b>LUNES</b>	<b>MARTE</b>	<b>MIÉRCOLES</b>	<b>JUEVES</b>	<b>VIERNES</b>	<b>SABADOS</b>	<b>DOMINGOS</b>
07:00	79.8	79.7	79.6	79.7	79.8	78.9	78.1
08:00	79.9	79	78.7	78.9	79.1	78.2	76.4
09:00	79.4	79.5	78.8	78.7	78.8	77.8	75.4
10:00	78.4	78.6	78.7	78.5	78.6	78.2	75.2
11:00	78.6	78.9	78.7	78.6	78.8	77.5	75.1
12:00	78.8	79.4	78.8	79.7	79.8	77.9	76.2
13:00	78.7	79.1	78.7	79.4	79.3	77.8	75.8
14:00	78.5	78.9	78.7	78.9	78.8	77.6	74.8
15:00	78.6	78.6	78.4	78.3	78.1	77.5	75.8
16:00	78.2	78.3	78.4	78.3	78.2	76.9	75.1
17:00	78.5	78.4	78.6	78.5	78.8	77.5	76.2
18:00	78.6	78.4	78.7	78.6	78.8	78.1	77
19:00	79.7	79.6	79.7	79.4	79.5	78.8	77.2
20:00	79	78.8	78.7	79.3	79	78.9	77.4
21:00	78.1	78.5	78.4	78.7	78.2	77.5	76.9

---

**ESTACIÓN INDEPENDENCIA - MEDICIONES (dB A)**

---

	<b>LUNE</b>	<b>MARTE</b>	<b>MIÉRCOLE</b>	<b>JUEVE</b>	<b>VIERNE</b>	<b>SABAD</b>	<b>DOMING</b>
	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>O</b>
07:00	79.8	79.7	79.6	79.5	79.9	78.8	77.8
08:00	80.4	80.8	80.2	80.7	81.2	79.1	77.2
09:00	76	76.5	76.8	76.9	77	78.8	77.8
10:00	78.3	78.1	78.4	78.6	78.7	78.5	76.8
11:00	78	78.2	78.1	78	78.1	78.1	76.8
12:00	78.3	78.5	78.3	78.4	78.5	77.8	77.2
13:00	78.7	78.3	77.6	77.5	78.1	77.9	77.1
14:00	76.8	76.7	76.1	76.8	76.7	78.1	76.4
15:00	75.7	75.8	75.6	75.7	75.8	77.8	76.2
16:00	77	77.3	76.9	76.9	77.1	78.4	75.4
17:00	78	78.1	77.9	78	78.1	78.5	75.1
18:00	79.5	79.6	79.3	79.4	79.4	78.6	75.4
19:00	77.7	77.7	77.7	77.8	77.8	78.2	75.3
20:00	76.6	76.7	76.5	76.5	76.6	77.1	74.7
21:00	75.6	75.4	75.4	75.3	75.2	74.7	75.1

---

Fuente: Elaboración propia

---

**ESTACIÓN GOYENECHÉ- MEDICIONES (dB A)**

---

	<b>LUNE</b>	<b>MARTE</b>	<b>MIÉRCOLE</b>	<b>JUEVE</b>	<b>VIERNE</b>	<b>SABAD</b>	<b>DOMING</b>
	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>O</b>
07:00	80.5	80.7	81	80.4	81.1	79.1	77.2
08:00	79.7	78.5	78.7	78.7	78.9	78.4	77.4

---



09:00	78.4	78.5	78.7	78.5	78.8	78.3	77.5
10:00	79.9	80.2	80.1	79.9	80.1	79.5	78.9
11:00	78.6	78.9	79	78.8	78.9	79.7	78.7
12:00	80.2	80.5	80.4	78.7	79.4	79.2	78.4
13:00	78.6	78.7	78.6	78.1	78.3	78.1	78.2
14:00	77.7	78.1	78	77.9	77.6	77.9	77.8
15:00	76.9	76.8	76.7	76.7	76.5	77.2	77
16:00	76.7	76.8	76.5	76.8	76.8	76.9	76.9
17:00	77.1	77.3	77.2	77.6	77.9	77.2	76.8
18:00	78.4	78.5	78.6	78.8	78.8	77.9	77.4
19:00	80.9	80.7	80.5	80.6	80.5	79.8	77.8
20:00	79.5	79.4	79.2	79.6	79.7	78.9	77.3
21:00	77.9	78	78.1	77.6	78.2	79.4	77.8

Fuente: Elaboración propia

<b>ESTACIÓN SALAVERRY - MEDICIONES (dB A)</b>							
	<b>LUNES</b>	<b>MARTES</b>	<b>MIÉRCOLES</b>	<b>JUEVES</b>	<b>VIERNES</b>	<b>SABADOS</b>	<b>DOMINGOS</b>
07:00	79.5	79.4	79.4	79.4	79.5	78.9	77.8
08:00	76.9	77.1	77	77.1	77.2	77.8	76.8
09:00	76.8	77	76.6	76.8	76.9	77.1	76.4
10:00	77.1	77.4	77	77.2	77.3	76.2	76.1
11:00	80.3	79.5	79	79.6	79.8	78.2	77.1
12:00	78.6	78	78.2	78.4	78.5	78.5	77
13:00	78.1	78.2	78.3	78.4	78.3	78.8	76.9
14:00	77.8	77.8	77.5	77.6	77.7	77.8	76.2

15:00	78	77.9	77.8	77.9	78.1	77.9	76.8
16:00	78.1	78	78.4	78.4	78.3	78.2	77.9
17:00	78.8	78.7	78.6	78.8	78.7	77.7	77.2
18:00	79.5	79.4	79.4	79.4	79.5	77.2	77.4
19:00	79.4	79.4	79.5	79.5	79.5	77.1	77.1
20:00	77.3	77.2	77.3	77.4	77.3	76.5	76.5
21:00	76.6	76.3	75.9	76.5	76.4	76.8	76.1

Fuente: Elaboración propia

<b>ESTACIÓN DEAN VALDIVIA- MEDICIONES (dB A)</b>							
	<b>LUNE S</b>	<b>MARTE S</b>	<b>MIÉRCOLE S</b>	<b>JUEVE S</b>	<b>VIERNE S</b>	<b>SABAD O</b>	<b>DOMING O</b>
07:00	75	74.9	74.9	75	75.1	74.4	70.1
08:00	75.3	75.5	75.4	75.3	75.4	74.1	70.4
09:00	74.6	74.6	74.8	74.7	74.9	74	70.3
10:00	74.2	74.1	74	74.2	74.2	74	71.7
11:00	74.1	74	73.9	74.1	74	73.9	71.4
12:00	75.7	75.8	75.8	75.9	75.7	73.5	71.8
13:00	75.2	75.3	75.2	75	75.1	73.8	72.1
14:00	73.7	73.4	73.2	73.6	73.5	73.7	70.4
15:00	73.7	73.5	74.3	71.9	72.5	73.4	70.1
16:00	72.7	72.5	73.5	72.4	72.5	71	72.1
17:00	73.1	73.5	73.2	73.4	73.5	71	71.4
18:00	74.7	74.9	74.7	74.5	74.5	71.1	70.4
19:00	75.1	75.5	74.9	74.6	74.5	70	70.4
20:00	73.7	73.8	73.4	73.1	73.5	70.4	69.9
21:00	70.6	70.6	70.9	71	71.1	69.9	69.7

Fuente: Elaboración propia

<b>ESTACIÓN JERUSALÉN- MEDICIONES (dB A)</b>							
	<b>LUNE S</b>	<b>MARTE S</b>	<b>MIÉRCOLE S</b>	<b>JUEVE S</b>	<b>VIERNE S</b>	<b>SABAD O</b>	<b>DOMING O</b>
07:00	77.9	77.8	77.9	78.1	78	77.8	77.7
08:00	77.7	77.8	77.6	77.8	77.8	77.4	76.4
09:00	77.8	77.9	77.4	77.6	77.7	77	76.1
10:00	77.9	77.7	77.8	77.8	77.9	77.3	75.7
11:00	77.8	77.7	77.8	77.7	77.8	76.4	75.8
12:00	77.5	77.6	77.6	77.5	77.6	76.1	75.3
13:00	79.3	79.2	79.2	79.3	79.1	76.7	76.3
14:00	78.5	78.5	78.4	78.5	78.6	76.4	74.2
15:00	77.7	77.8	77.6	77.7	77.7	76.2	73.7
16:00	77.6	77.5	77.4	77.6	77.5	76.1	73.8
17:00	77.8	77.6	77.4	77.5	77.6	76	76
18:00	77.9	77.8	77.7	77.9	77.8	76.1	75.2
19:00	76.5	76.8	76.6	76.7	76.8	74.2	72.1
20:00	76.6	76.5	76.4	76.5	76.7	70.8	70.1
21:00	75.8	75.7	75.6	75.8	75.8	70.1	70

Fuente: Elaboración propia

<b>ESTACIÓN PERAL -MEDICIONES (dB A)</b>							
	<b>LUNE S</b>	<b>MARTE S</b>	<b>MIÉRCOLE S</b>	<b>JUEVE S</b>	<b>VIERNE S</b>	<b>SABAD O</b>	<b>DOMING O</b>
07:00	74.7	74.4	74.6	74.4	74.5	74.6	74.3

08:00	74.6	74.5	74.4	74.5	74.4	74.7	74.2
09:00	74.8	74.6	73.6	74.2	74.5	74.2	72.1
10:00	70.6	71.2	70.5	70.8	70.7	73.2	72.4
11:00	74.3	74.2	74.1	74.1	74.2	73.8	72.1
12:00	76.5	76.3	76.4	76.6	75.4	72.7	71.1
13:00	75.7	75.9	75.8	75.6	75.8	73.4	67.4
14:00	74.6	74.7	74.4	74.5	74.5	70.4	67.7
15:00	72.2	71.7	71.9	72.2	72.1	71.1	68.7
16:00	72.5	72.7	72.5	72.8	72.5	70.2	68.2
17:00	73.8	73.2	73.7	74.1	73.6	70.0	68
18:00	74	74.2	74.1	74.4	74	72.1	68.2
19:00	73.7	73.6	73.7	73.8	73.8	71.1	68.4
20:00	71.8	72.1	72.1	71.9	72.2	69.7	68.7
21:00	70.4	70.1	70.8	70.7	70.6	69.7	68.4

Fuente: Elaboración propia

<b>ESTACIÓN PALACIO VIEJO -MEDICIONES (dB A)</b>							
	<b>LUNES</b>	<b>MARTE</b>	<b>MIÉRCOLES</b>	<b>JUEVES</b>	<b>VIERNES</b>	<b>SABADOS</b>	<b>DOMINGOS</b>
07:00	78.5	78.7	78.6	78.6	78.7	76.7	76.7
08:00	79.1	79.3	79	79.2	79.3	77.8	76.2
09:00	79.1	79	79.1	78.9	79	77.9	76.2
10:00	79.4	79.5	79.6	79.6	79.5	77.3	75.7

11:00	79.9	79.8	79.9	79.8	79.8	77.8	75.9
12:00	78.5	78.4	78.4	78.5	78.5	76.2	76.4
13:00	78.3	78.1	78.2	78.3	78.2	76.1	76.2
14:00	78.1	78.2	78.3	78.2	78.2	76	75.8
15:00	77.9	78	77.9	77.9	78	75.9	75.5
16:00	78	78.1	78.1	77.9	78	74.8	75.7
17:00	78.6	78.4	78.5	78.6	78.5	74.9	75.8
18:00	79.6	78.1	78.6	78.5	79.5	74.7	73.8
19:00	77.5	77.6	77.7	77.5	77.6	74.3	73.3
20:00	76.5	76.4	76.5	76.6	76.4	73.1	73.1
21:00	74.2	74.3	74.4	74.2	74.3	73	73.1

Fuente: Elaboración propia

<b>ESTACIÓN AYACUCHO -MEDICIONES (dB A)</b>							
	<b>LUNES</b>	<b>MARTES</b>	<b>MIÉRCOLES</b>	<b>JUEVES</b>	<b>VIERNES</b>	<b>SABADOS</b>	<b>DOMINGOS</b>
07:00	74.3	74.2	74.3	74.4	74.2	74.1	73.8
08:00	74.7	74.9	76	75.3	74.1	73.5	72.5
09:00	74.4	74.4	74.5	74.3	74.4	73.4	72.4
10:00	74.3	74.6	74.4	74.5	74.6	73.8	73.9
11:00	74.8	74.8	74.7	74.7	74.6	74.1	73.6
12:00	74.5	74.5	74.6	74.5	74.7	72.1	72.4
13:00	74.1	74.2	74.3	74.2	74.3	72.4	72.3
14:00	74	74.1	73.9	74	74.1	71.8	71.7
15:00	73.7	73.7	73.8	73.7	73.8	71.4	71.1
16:00	73.5	73.6	73.4	73.5	73.5	70.3	70.5
17:00	74.2	74.2	74.1	74.1	74	70.5	70.2

18:00	75.3	75.4	75.4	75.4	75.5	70.2	70
19:00	73.8	73.7	73.7	73.9	73.8	70.1	70.2
20:00	72.8	72.7	72.8	72.7	72.8	69.7	69.1
21:00	71.6	71.5	71.4	71.5	71.8	69.4	69.1

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5 Mediciones de cada zona por turno: número de vehículos pesados, velocidad

ESTACIÓN	HORARIO	NIVEL SONORO (DB A)	Nº DE VEHÍCULOS LIVIANOS	Nº DE VEHÍCULOS PESADOS	Nº DE VEHÍCULOS PROMEDIO	% DE VEHÍCULOS PESADOS	VELOCIDAD (KM/H)
<b>Ejercito</b>	Mañana(7:00 -12:00)	76.86	1582	711	2293	31.01	28
	Tarde (12.01-18:00pm)	77.5	1467	679	2146	31.63	27
	Noche (18:00-21:00 pm)	75.47	1862	1058	2920	36.23	28
<b>Paucarpata</b>	Mañana(7:00 -12:00)	79.03	1605	681	2286	29.78	28
	Tarde (12.01-18:00pm)	78.72	1851	580	2431	23.86	28
	Noche (18:00-21:00 pm)	78.89	1575	585	2160	27.08	29
<b>Independencia</b>	Mañana(7:00 -12:00)	78.7	1772	586	2358	24.85	28
	Tarde (12.01-18:00pm)	77.31	1723	559	2281	24.49	29
	Noche (18:00-21:00 pm)	77.29	1325	449	1775	25.31	28
<b>Goyeneche</b>	Mañana(7:00 -12:00)	79.42	1820	457	2277	20.07	25
	Tarde (12.01-18:00pm)	77.84	1662	409	2071	19.73	26
	Noche (18:00-21:00 pm)	79.18	1450	396	1846	21.45	27
<b>Salaverry</b>	Mañana(7:00 -12:00)	78.02	1061	332	1393	23.81	21
	Tarde (12.01-18:00pm)	78.2	1238	529	1767	29.92	24
	Noche (18:00-21:00 pm)	78.14	1320	660	1980	33.34	23
<b>Deán Valdivia</b>	Mañana(7:00 -12:00)	74.67	1673	51	1725	2.95	28
	Tarde (12.01-18:00pm)	74.11	1344	55	1399	3.91	27
	Noche (18:00-21:00 pm)	73.75	1457	50	1507	3.29	29
<b>Jerusalén</b>	Mañana(7:00 -12:00)	77.78	1117	258	1375	18.76	29
	Tarde (12.01-18:00pm)	78.06	1055	251	1306	19.22	27
	Noche (18:00-21:00 pm)	76.75	755	285	1040	27.4	30
<b>Peral</b>	Mañana(7:00 -12:00)	74.37	1046	317	1363	23.25	28
	Tarde (12.01-18:00pm)	73.97	971	244	1215	20.08	26
	Noche (18:00-21:00 pm)	72.28	492	149	641	23.24	30
<b>Palacio viejo</b>	Mañana(7:00 -12:00)	79.22	1122	227	1375	16.82	25
	Tarde (12.01-18:00pm)	78.23	1026	244	1306	19.21	27

<b>Ayacucho</b>	Noche (18:00-21:00 pm)	77.12	594	280	1040	32.04	28
	Mañana(7:00 -12:00)	74.59	1059	284	1343	21.15	29
	Tarde (12.01-18:00pm)	74.04	893	247	1140	21.67	28
	Noche (18:00-21:00 pm)	73.6	518	275	793	34.67	30

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 6 Aplicación del Método CoRTN Método CoRTN -Turno mañana

ESTACIÓN	L 10 HORAS(dB)	CORRECCIÓN POR VELOCIDAD	CORRECCIÓN POR GRADIENTE	CORRECCIÓN POR HENDIDURAS	CORRECCION POR PROPAGACION	EFECTO DE REFLEXIÓN	CORTN
<b>Ejercito</b>	73.19	3.17	4.5	3.98	2.8	2.5	90.14
<b>Paucarpata</b>	73.26	3.02	3.78	2.86	2.8	2.5	88.22
<b>Independencia</b>	73.68	2.37	5.32	2.4	2.8	2.5	89.07
<b>Goyeneche</b>	73.8	1.87	-1.52	3.54	2.8	2.5	82.99
<b>Salaverry</b>	71.46	3.08	0.9	3.73	2.8	2.5	84.47
<b>Deán Valdivia</b>	73.44	-3.15	4.35	2.69	-2.02	2.5	77.81
<b>Jerusalén</b>	71.68	1.33	5.74	2.27	3.46	2.5	86.98
<b>Peral</b>	71.67	2.12	-0.4	3.88	2.8	2.5	82.57
<b>Palacio viejo</b>	71.7	1.01	4.79	2.56	3.46	2.5	86.02
<b>Ayacucho</b>	71.44	0.69	-3.11	3.06	3.67	2.5	78.25

Fuente: Elaboración propia

### Método CoRTN -Turno tarde

ESTACIÓN	L 10 EN HORAS(dB)	CORRECCIÓN POR VELOCIDAD	CORRECCIÓN POR GRADIENTE	CORRECCIÓN POR HENDIDURAS	CORRECCIÓN POR PROPAGACION	EFECTO DE REFLEXIÓN	CORTN
<b>Ejercito</b>	72.86	3.32	4.5	3.98	2.8	2.5	89.96
<b>Paucarpata</b>	73.87	2.22	3.78	2.86	2.8	2.5	88.04
<b>Independencia</b>	73.56	2.26	5.32	2.4	2.8	2.5	88.84
<b>Goyeneche</b>	73.41	1.72	-1.52	3.54	2.8	2.5	82.44
<b>Salaverry</b>	72.13	3.44	0.9	3.73	2.8	2.5	85.49
<b>Deán Valdivia</b>	72.49	-2.68	4.35	2.69	-2.02	2.5	77.33

<b>Jerusalén</b>	71.43	1.54	5.74	2.27	3.46	2.5	86.94
<b>Peral</b>	71.07	1.76	-0.4	3.88	2.8	2.5	81.61
<b>Palacio viejo</b>	71.31	1.53	4.79	2.56	3.46	2.5	86.15
<b>Ayacucho</b>	70.71	1.68	-3.11	3.06	3.67	2.5	78.51

Fuente: Elaboración propia

### Método CoRTN -Turno noche

<b>ESTACIÓN</b>	<b>L 10 EN HORAS(dB)</b>	<b>CORRECCIÓN POR VELOCIDAD</b>	<b>CORRECCIÓN POR GRADIENTE</b>	<b>CORRECCIÓN POR HENDIDURAS</b>	<b>CORRECCIÓN POR PROPAGACION</b>	<b>EFECTO DE REFLEXIÓN</b>	<b>CORTN</b>
<b>Ejercito</b>	73.9	3.75	4.5	3.98	2.8	2.5	91.43
<b>Paucarpata</b>	73.17	2.61	3.78	2.86	2.8	2.5	87.73
<b>Independencia</b>	72.42	2.43	5.32	2.4	2.8	2.5	87.88
<b>Goyeneche</b>	72.81	1.92	-1.52	3.54	2.8	2.5	82.06
<b>Salaverry</b>	72.41	3.99	0.9	3.73	2.8	2.5	86.33
<b>Deán Valdivia</b>	72.83	-2.97	4.35	2.69	-2.02	2.5	77.39
<b>Jerusalén</b>	69.98	2.6	5.74	2.27	3.46	2.5	86.55
<b>Peral</b>	68.11	2.95	-0.4	3.88	2.8	2.5	79.84
<b>Palacio viejo</b>	68.94	3.28	4.79	2.56	3.46	2.5	85.53
<b>Ayacucho</b>	68.34	3.45	-3.11	3.06	3.67	2.5	77.91

Fuente: Elaboración propia



Anexo 7 Promedio de mediciones y número de vehículos pesados y livianos  
Mediante modelo estadístico-matemático para la obtención del modelo matemático

<b>ESTACION EJÉRCITO</b>				
<b>HORA</b>	<b>Yi (dB A)</b>	<b>Q/h</b>	<b>Qliv/h</b>	<b>Qpes/h</b>
<b>07:00</b>	78.24	1709	2545	874
<b>08:00</b>	76.56	1025	1358	692
<b>09:00</b>	77.1	1006	1329	683
<b>10:00</b>	75.76	923	1226	619
<b>11:00</b>	76.62	1070	1453	687
<b>12:00</b>	77.22	1127	1624	631
<b>13:00</b>	76.52	1110	1572	647
<b>14:00</b>	77.06	1063	1363	762
<b>15:00</b>	77.16	979	1282	676
<b>16:00</b>	78.72	1059	1435	683
<b>17:00</b>	78.32	1099	1526	673
<b>18:00</b>	77.36	1114	1528	700
<b>19:00</b>	75.66	1647	2068	1225
<b>20:00</b>	74.6	2177	2727	1627
<b>21:00</b>	74.26	902	1124	679

Fuente: Elaboración propia

Nota: Qliv - vehículos livianos, Qpes - vehículos pesados

<b>ESTACIÓN PAUCARPATA</b>				
<b>HORA</b>	<b>Yi (dB A)</b>	<b>Q/h</b>	<b>Qliv/h</b>	<b>Qpes/h</b>
<b>07:00</b>	79.72	1259	1754	765
<b>08:00</b>	79.12	1221	1700	741
<b>09:00</b>	79.04	1204	1701	708

<b>10:00</b>	78.56	1117	1564	670
<b>11:00</b>	78.72	914	1309	520
<b>12:00</b>	79.3	1659	2685	632
<b>13:00</b>	79.04	1372	2132	612
<b>14:00</b>	78.76	1121	1672	569
<b>15:00</b>	78.4	1060	1602	517
<b>16:00</b>	78.28	1040	1528	552
<b>17:00</b>	78.56	1042	1487	598
<b>18:00</b>	78.62	1054	1512	597
<b>19:00</b>	79.58	1316	2054	578
<b>20:00</b>	78.96	1105	1551	659
<b>21:00</b>	78.38	844	1182	505

Fuente: Elaboración propia

Nota: Qliv - vehículos livianos, Qpes - vehículos pesados

<b>ESTACIÓN INDEPENDENCIA</b>				
<b>HORA</b>	<b>Yi (dB A)</b>	<b>Q/h</b>	<b>Qliv/h</b>	<b>Qpes/h</b>
<b>07:00</b>	79.7	1294	1890	697
<b>08:00</b>	80.66	1178	1769	587
<b>09:00</b>	76.64	1139	1726	553
<b>10:00</b>	78.42	1118	1775	462
<b>11:00</b>	78.08	1166	1700	632
<b>12:00</b>	78.4	1150	1731	569
<b>13:00</b>	78.04	1196	1817	575
<b>14:00</b>	76.62	1186	1816	556
<b>15:00</b>	75.72	1137	1754	520
<b>16:00</b>	77.04	1084	1686	482
<b>17:00</b>	78.02	1091	1531	650
<b>18:00</b>	79.44	1027	1511	543
<b>19:00</b>	77.74	976	1553	398
<b>20:00</b>	76.58	885	1264	506
<b>21:00</b>	75.38	662	974	350

Fuente: Elaboración propia

Nota: Qliv - vehículos livianos, Qpes - vehículos pesados

<b>ESTACIÓN GOYENECHÉ</b>				
<b>HORA</b>	<b>Yi (dB A)</b>	<b>Q/h</b>	<b>Qliv/h</b>	<b>Qpes/h</b>
<b>07:00</b>	80.74	1006	1525	486
<b>08:00</b>	78.9	1053	1672	433
<b>09:00</b>	78.58	1080	1729	430
<b>10:00</b>	80.04	1452	2235	669

<b>11:00</b>	78.84	1102	1939	265
<b>12:00</b>	79.84	1106	1858	353
<b>13:00</b>	78.46	1117	1775	460
<b>14:00</b>	77.86	1092	1711	472
<b>15:00</b>	76.72	955	1531	380
<b>16:00</b>	76.72	932	1494	369
<b>17:00</b>	77.42	1010	1603	417
<b>18:00</b>	78.62	1125	1799	450
<b>19:00</b>	80.64	1234	1953	515
<b>20:00</b>	79.48	817	1203	431
<b>21:00</b>	77.96	486	845	126

Fuente: Elaboración propia

Nota: Qliv - vehículos livianos, Qpes - vehículos pesados

<b>ESTACIÓN SALAVERRY</b>					
<b>HORA</b>	<b>Yi (dB A)</b>	<b>Q/h</b>	<b>Qliv/h</b>	<b>Qpes/h</b>	
<b>07:00</b>	79.4	706	1091	321	
<b>08:00</b>	77.06	672	1036	309	
<b>09:00</b>	76.82	631	970	292	
<b>10:00</b>	77.2	691	1049	333	
<b>11:00</b>	79.64	782	1160	404	
<b>12:00</b>	78.34	802	1157	446	
<b>13:00</b>	78.26	761	1120	402	
<b>14:00</b>	77.68	827	1101	553	
<b>15:00</b>	77.94	937	1291	582	
<b>16:00</b>	78.24	985	1356	613	
<b>17:00</b>	78.72	1024	1403	646	
<b>18:00</b>	79.44	1070	1458	682	
<b>19:00</b>	79.46	1090	1484	696	
<b>20:00</b>	77.3	986	1317	656	
<b>21:00</b>	76.34	814	1021	606	

Fuente: Elaboración propia

Nota: Qliv - vehículos livianos, Qpes - vehículos pesados

<b>ESTACIÓN DEÁN VALDIVIA</b>				
<b>HORA</b>	<b>Yi (dB A)</b>	<b>Q/h</b>	<b>Qliv/h</b>	<b>Qpes/h</b>
<b>07:00</b>	74.98	1077	2103	52

<b>08:00</b>	75.38	874	1679	69
<b>09:00</b>	74.72	1006	1960	52
<b>10:00</b>	74.14	730	1414	45
<b>11:00</b>	74.02	625	1211	38
<b>12:00</b>	75.78	710	1359	61
<b>13:00</b>	75.16	704	1351	58
<b>14:00</b>	73.48	706	1353	58
<b>15:00</b>	73.26	697	1339	55
<b>16:00</b>	72.74	683	1318	48
<b>17:00</b>	73.34	697	1345	48
<b>18:00</b>	74.66	746	1435	56
<b>19:00</b>	74.93	853	1645	61
<b>20:00</b>	73.5	758	1464	52
<b>21:00</b>	70.84	656	1284	29

Fuente: Elaboración propia

Nota: Qliv - vehículos livianos, Qpes - vehículos pesados

<b>ESTACIÓN JERUSALÉN</b>				
<b>HORA</b>	<b>Yi (dB A)</b>	<b>Q/h</b>	<b>Qliv/h</b>	<b>Qpes/h</b>
<b>07:00</b>	77.94	799	1323	275
<b>08:00</b>	77.74	635	1004	266
<b>09:00</b>	77.68	695	1121	269
<b>10:00</b>	77.82	686	1124	249
<b>11:00</b>	77.76	623	1015	232
<b>12:00</b>	77.56	710	1099	321
<b>13:00</b>	79.22	659	1131	188
<b>14:00</b>	78.5	665	1102	228
<b>15:00</b>	77.7	634	1010	258
<b>16:00</b>	77.52	632	1006	258
<b>17:00</b>	77.58	630	1008	252
<b>18:00</b>	77.82	744	1229	258
<b>19:00</b>	76.68	643	933	353
<b>20:00</b>	76.54	385	494	276
<b>21:00</b>	75.74	307	362	253

Fuente: Elaboración propia

Nota: Qliv - vehículos livianos, Qpes - vehículos pesados

<b>ESTACIÓN PERAL</b>				
<b>HORA</b>	<b>Yi (dB A)</b>	<b>Q/h</b>	<b>Qliv/h</b>	<b>Qpes/h</b>
<b>07:00</b>	74.52	650	1008	291

<b>08:00</b>	74.48	591	877	303
<b>09:00</b>	74.36	660	961	360
<b>10:00</b>	70.77	723	1161	285
<b>11:00</b>	74.18	647	949	346
<b>12:00</b>	76.26	687	1103	270
<b>13:00</b>	75.76	585	924	246
<b>14:00</b>	74.54	594	947	241
<b>15:00</b>	72.02	579	917	240
<b>16:00</b>	72.6	582	936	228
<b>17:00</b>	73.69	563	883	243
<b>18:00</b>	74.14	613	982	244
<b>19:00</b>	73.72	531	888	174
<b>20:00</b>	72.02	498	846	151
<b>21:00</b>	70.53	250	276	28

Fuente: Elaboración propia

Nota: Qliv - vehículos livianos, Qpes - vehículos pesados

<b>ESTACIÓN PALACIO VIEJO</b>				
<b>HORA</b>	<b>Yi (dB A)</b>	<b>Q/h</b>	<b>Qliv/h</b>	<b>Qpes/h</b>
<b>07:00</b>	78.62	493	745	241
<b>08:00</b>	79.02	584	891	277
<b>09:00</b>	79.02	572	884	261
<b>10:00</b>	79.52	910	1591	229
<b>11:00</b>	79.84	813	1500	125
<b>12:00</b>	78.46	791	1305	277
<b>13:00</b>	78.22	697	1158	237
<b>14:00</b>	78.2	633	1025	240
<b>15:00</b>	77.94	612	990	234
<b>16:00</b>	78.02	564	896	232
<b>17:00</b>	78.52	515	786	243
<b>18:00</b>	78.9	561	797	326
<b>19:00</b>	77.58	522	796	249
<b>20:00</b>	76.48	398	461	334
<b>21:00</b>	74.28	267	324	209

Fuente: Elaboración propia

Nota: Qliv - vehículos livianos, Qpes - vehículos pesados

### **ESTACIÓN AYACUCHO**

<b>HORA</b>	<b>Yi (dB A)</b>	<b>Q/h</b>	<b>Qliv/h</b>	<b>Qpes/h</b>
<b>07:00</b>	74.28	644	1049	240
<b>08:00</b>	75.04	580	874	286
<b>09:00</b>	74.4	517	765	269
<b>10:00</b>	74.48	457	606	307
<b>11:00</b>	74.72	519	721	316
<b>12:00</b>	74.56	580	834	326
<b>13:00</b>	74.22	452	621	284
<b>14:00</b>	74.02	404	588	220
<b>15:00</b>	73.74	411	594	228
<b>16:00</b>	73.5	405	590	221
<b>17:00</b>	74.12	396	588	204
<b>18:00</b>	75.4	411	517	304
<b>19:00</b>	73.78	377	466	288
<b>20:00</b>	72.76	332	392	271
<b>21:00</b>	71.56	269	302	236

Fuente: Elaboración propia

Nota: Qliv - vehículos livianos, Qpes - vehículos pesados

## Anexo 8 Mapas estratégico de ruido mediante el método Kriging en ARCGIS

