



UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

MAESTRÍA EN MATEMÁTICA, MENCIÓN EN MODELACIÓN MATEMÁTICA

**Informe de investigación previo a la obtención del título de Magister en Modelación
Matemática**

Tema:

**Modelo matemático para medir la intensidad de ruido causante de la
contaminación acústica en el casco comercial de la ciudad de Babahoyo.**

AUTOR:

Lcdo. Wilson Fernando Rivera Burgos

DIRECTOR TFM:

Ing. Fabricio Guevara Viejó, Ph.D.

**Milagro, agosto de 2023
ECUADOR**

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Por la presente hago constar que he analizado el proyecto de informe de investigación presentado por el Lcdo. Wilson Fernando Rivera Burgos con el tema “Modelo matemático para medir la intensidad de ruido causante de la contaminación acústica en el casco comercial de la ciudad de Babahoyo.”, para optar al título de Magister en Matemática, mención en Modelación Matemática y que acepto tutoriar al estudiante, durante la etapa de desarrollo del trabajo hasta su presentación, evaluación y sustentación.

Milagro, a los 3 días del mes de marzo de 2023.

Ing. Fabricio Guevara Viejó, Ph.D.

0917882961

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

El autor de esta investigación declara ante el Comité Académico del Programa de Maestría en Matemática de la Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado es de mi propia autoría, no contiene material escrito de otra persona, salvo el que está referenciado debidamente en el texto; parte del presente documento o en su totalidad no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro Título de una institución nacional o extranjera.

Milagro, a los 09 días del mes de agosto de 2023.



Lcdo. Wilson Fernando Rivera Burgos

CI. 0907608145

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN MATEMÁTICA CON MENCIÓN EN MODELACIÓN MATEMÁTICA**, presentado por **LIC. RIVERA BURGOS WILSON FERNANDO**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "MODELO MATEMÁTICO PARA MEDIR LA INTENSIDAD DE RUIDO CAUSANTE DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN EL CASCO COMERCIAL DE LA CIUDAD DE BABAHOYO.", las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACIÓN	60.00
DEFENSA ORAL	40.00
PROMEDIO	100.00
EQUIVALENTE	Excelente



Firmado electrónicamente por:
JUAN DIEGO
VALENZUELA COBOS

Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
ROBERTO IVAN
BASURTO QUILLIGANA

MBA. BASURTO QUILLIGANA ROBERTO
IVAN
VOCAL



Firmado electrónicamente por:
RAFAEL SELEYMAN
LAZO SULCA

Mati. LAZO SULCA RAFAEL SELEYMAN
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Dedico mi tesis principalmente a Dios, por darme la fuerza necesaria para culminar esta meta.

A mis padres que desde el cielo me motivan, guían y me cuidan para seguir adelante y conseguir las metas que me he propuesto.

También a mi esposa que siempre ha sido mi soporte en todo momento, en especial en el camino a la consecución de este título.

Y finalmente a los que, de una u otra manera, fueron mi soporte para que luche en la consecución de este objetivo.

AGRADECIMIENTO.

“Le agradezco, muy profundamente, a mi tutor por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas, no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados, para siempre, en la memoria de mi futuro profesional”

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Doctor

Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derechos de Autor del Trabajo realizado como requisito previo a la obtención de mi Título de Cuarto Nivel cuyo tema fue “Modelo matemático para medir la intensidad de ruido causante de la contaminación acústica en el casco comercial de la ciudad de Babahoyo” y que corresponde al Vicerrectorado de Investigación y Postgrado.

Milagro, a los 9 días del mes de agosto de 2023.



Lcdo. Wilson Fernando Rivera Burgos

CI. 0907608145

Índice General

Tabla de contenido

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
RESUMEN	XI
ABSTRACT.....	XII
CAPÍTULO I:	1
Planteamiento del problema	1
1.1.1 Formulación del problema	13
1.1.2 Objetivo general y objetivos específicos.....	13
1.1.3 Planteamiento hipotético	14
CAPÍTULO II	15
Marco Teórico.	15
1.1.4 Antecedes de la investigación.....	15
1.1.5 Bases Teóricas.....	23
.....	40
CAPÍTULO III	41
1.2 Metodología.....	41
1.2.1 Materiales y Métodos	41
CAPÍTULO IV.....	56
Análisis y Resultados	56
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
2 ANEXOS	64

3	Indice de tablas.....	64
3.1.1	Tabla 1: Ruidos ambientales diversos, medidos en decibeles.	64
3.1.2	Tabla 2: Especificaciones técnicas del sonómetro utilizado.....	64
3.1.3	Tabla 3: Variables de estudio	65
3.1.4	Tabla 4: Tolerancia permitida de acuerdo la clase de sonómetro, según norma IEC 60651.	65
3.1.5	Tabla 5: Efectos del ruido sobre la salud.....	65
3.1.6	Tabla 6. Medición de ruido por uso de suelo, de acuerdo a las dinámicas de la zona (TULSMA 2015)	66
3.2	Indice de figuras	70
3.2.1	Figura 1. Casco comercial de la ciudad del cantón Babahoyo.....	70
3.2.2	Figura 2. Nodos en la zona a investigar.....	70
3.2.3	Figura 3.	71
	Partes del oído.....	71
3.2.4	Figura 4. Sonómetro Amprobe SM-20-A.....	71

Glosario de términos

- **Cóclea:** Caracol del oído de los vertebrados terrestres. Estructura en forma de tubo enrollado en espiral, situada en el oído interno. Forma parte del sistema auditivo de los mamíferos.
- **Ototóxicas:** La ototoxicidad es el efecto nocivo, reversible o irreversible, producido sobre el oído por diversas sustancias denominadas ototóxicas y que afectarán a la audición o al equilibrio.
- **Hipoacusia unilateral:** Es la incapacidad parcial o total para escuchar sonidos en uno de los dos oídos.
- **Hipoacusia bilateral:** Es la incapacidad parcial o total para escuchar sonidos en los dos oídos.
- **Trastornos fisiológicos:** son determinados cambios o alteraciones que se producen en el desarrollo normal de un proceso.
- **Salud ambiental:** Según la OMS, es aquella disciplina que comprende los aspectos de la salud humana, incluida la calidad de vida y el bienestar social, que son determinados por factores sociales, psicológicos, ambientales, físicos, químicos y biológicos.
- **Ruido:** Sonido inarticulado, sin ritmo ni armonía y confuso.
- **Ruido ambiental:** Son los sonidos poco agradables e incluso dañinos, que modifican las condiciones consideradas normales o tolerables en una cierta región.
- **Acúfenos:** Sensación auditiva que consiste en percibir sonidos que no proceden de fuentes externas.
- **Sumak Kawsay:** Es una forma de vida plena, equilibrada, sana, armónica y modesta, en los planos individual y social.
- **Preceptúa:** Que dicta preceptos, normas u órdenes. Ordenar una ley, una regla o precepto.
- **Tímpano:** Es una membrana delgada de piel estirada, como si fuera un tambor, que vibra cuando es golpeada por el sonido.

RESUMEN

La exposición prolongada a ruidos intensos y repetitivos constituye uno de los principales problemas de salud ambiental, especialmente en los sectores urbanos. Las ciudades se han transformado en el escenario perfecto para la proliferación de la contaminación acústica, y las personas mayores son, especialmente, vulnerables, a los trastornos que de ella se derivan. El ruido es un contaminante ambiental que afecta a la calidad de vida de las personas a nivel mundial. Incluye el componente objetivo y subjetivo, este último dado por la sensibilidad de las personas. Las personas expuestas pueden padecer múltiples afectaciones a la salud. Las personas que asisten a esos lugares sean por vender o comprar están expuestas al ruido ambiental indiscriminado. Así también es importante señalar que, la contaminación acústica es un concepto que engloba todos aquellos sonidos que, por sus características de forma e intensidad, pueden ser considerados como ruido. Y ruido, según la Organización Mundial de la Salud, es cualquier sonido que supere los 65 decibelios durante el día y los 55 decibelios durante la noche. El propósito de este trabajo de investigación, es establecer los efectos en la salud de las personas expuestas a la contaminación sónica en el sector comercial de la ciudad de Babahoyo, lugar donde se concentra la mayor cantidad de ruido tanto vehicular como estacionario producido por comerciantes del sector, el mismo que afecta a las personas que habitan, transitan y trabajan en el lugar. Se realizó un estudio de campo con tres sonómetros en diferentes horas del día, por tres días diferentes. Con la información obtenida, se obtuvo dos ecuaciones cuadráticas con dos variables, como modelo matemático. Se aplicó el método de Newton-Raphson para poder obtener la solución que nos lleve a determinar el nivel de ruido que se percibe en el sector objeto de estudio.

Palabras Clave: Contaminación ambiental, ruido, contaminación acústica, afectación, intensidad, sonómetro, modelo Matemático, ecuación con dos variables.

ABSTRACT

Prolonged exposure to intense and repetitive noise is one of the main environmental health problems, especially in urban areas. Cities have become the perfect scenario for the overload of noise pollution, and older people are especially vulnerable to the disorders that result from it. Noise is an environmental pollutant that affects the quality of life of people worldwide. It includes the objective and subjective component, the latter given by the sensitivity of people. Exposed people can suffer multiple health effects. The people who attend these places, whether to sell or buy, are exposed to indiscriminate environmental noise. Thus, it is also important to point out that noise pollution is a concept that encompasses all those sounds that, due to their characteristics of shape and intensity, can be considered as noise. And noise, according to the World Health Organization, is any sound that exceeds 65 decibels during the day and 55 decibels at night. The purpose of this research work is to establish the effects on the health of people exposed to noise pollution in the commercial sector of the city of Babahoyo, the place where the greatest amount of both vehicular and stationary noise produced by merchants in the area is concentrated. sector, the same one that affects the people who live, transit and work in the place. A field study was carried out with three sound level meters at different times of the day, for three different days. With the information obtained, two equations with two variables were obtained, as a mathematical model. The Newton-Raphson method was applied in order to obtain the solution that leads us to determine the noise level that is perceived in the sector under study.

Keywords: Environmental pollution, noise, noise pollution, affectation, intensity, sound level meter, mathematical model, equation with two variables.

CAPÍTULO I:

Planteamiento del problema

Podemos mencionar que la contaminación atmosférica es la contaminación del aire, de suelos o de las aguas, pero, también puede ser acústica generada por el ruido que afecta igual o más que los otros tipos de contaminación. El ruido puede provenir de diferentes fuentes entre estas las más importantes son las fuentes antropogénicas las cuales son aquellas que provenientes de las actividades humanas.

Para el presente estudio, podemos mencionar que la contaminación acústica en la actualidad es uno de los males silenciosos que afecta, de forma directa, la salud de los habitantes y personas que desarrollan alguna actividad, durante las horas laborables, en el casco comercial de la ciudad de Babahoyo, vulnerando los derechos del buen vivir consagrados en la Constitución del Ecuador y respaldados en el Plan Nacional del Buen Vivir.

Podemos referirnos a dos tipos de ruido, el continuo o estacionario, que se manifiesta cuando el nivel de presión sonora es constante, ejemplo ruido de un motor en un lugar de trabajo, vendedores estacionarios, etc. El otro ruido es el discontinuo o no estacionario, se presenta como bajadas y subidas violentas del nivel de ruido, ejemplo: el tráfico vehicular, vendedores ambulantes, etc.

Por lo general los vehículos más grandes y pesados, emiten más ruido que los vehículos livianos, no solamente por el motor, sino por la bocina y por lugares donde transitan gran cantidad de vehículos es mucho mayor el impacto a las personas que se encuentran expuestas. También es importante mencionar el impulso o impacto, se da cuando hay una subida brusca del ruido en un tiempo inferior al ruido no estacionario, ejemplo explosiones, impacto de carros, etc.

La creciente conciencia y conocimientos ambientales del impacto del ruido, en forma general en la salud, la psiquis, el rendimiento y el bienestar, la lucha contra el ruido ambiental es cada vez más importante. La Organización Mundial de la Salud (OMS), describe al

ruido como la primera molestia ambiental en los países industrializados, los cuales priorizan modernizar las ciudades y descuidan la salud de los ciudadanos que viven en ella. Ibarra Toapanta, A. G. (2017).

Según el autor, la contaminación por ruido es una forma de energía que puede afectar la salud de quienes se encuentren expuestos por un tiempo determinado, este es un problema que está latente, especialmente en las grandes ciudades donde, constantemente, están viviendo el aumento tanto de población, como de vehículos, esta problemática necesita que sea analizada constantemente y cada vez buscar una solución real, esta afectación a la salud no solamente afecta al sistema auditivo, sino que, puede alterar el sistema nervioso, el estrés, sistema cardiaco, etc., de las personas.

Es importante mencionar que existen diferentes tipos de ruido en las calles comerciales de las ciudades, como el ruido vehicular, los altavoces de los vendedores ambulantes, en los negocios formales. El tiempo a que están expuestas las personas que tienen que concurrir a estos lugares, sea por trabajo o por adquirir algún producto, hace que se vuelva peligroso para la salud, existen ciertos tonos para los cuales la reverberación se vuelve muy notable, lo cual produce un efecto desconcentrador.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS), establece que el ruido es la presencia en el ambiente de niveles sonoros no deseados que provocan en el ser humano desde molestia y estrés, hasta posibles daños físicos al oído y otros efectos nocivos en la salud. (Organización Panamericana de la Salud (OPS),2015).

Según el autor, se puede interpretar que el ruido desencadena afectaciones directas, por ello es necesario respaldar la creación y correcta aplicación de las políticas públicas que protejan a las personas que son víctimas de esta contaminación; por lo que, es necesario cuidar a las personas y animales que sufran algún tipo de afectación y por ende el deterioro de la salud de la salud producto de esta contaminación ambiental.

Por otro lado, se conoce que, los efectos de la contaminación por ruido pueden ser físicos y psicosociales, aunque en muchas ocasiones se suelen presentar efectos combinados en una misma persona. En lo que respecta a los efectos psicológicos, la OMS reconoce lo dañino que es el ruido sobre la salud mental, el rendimiento, la conducta y la vida social, así como también puede provocar trastornos del sueño.

De Santillana et al. (2010, pág. 8), se conoce que los trastornos del sueño están presentes en una elevada parte de la población; según el autor, se calcula que entre el 20% y el 30% de la población de los países industrializados, en occidente, lo padecen, lo cual hace que aparezcan otros factores psicosociales, tales como, la disminución de la capacidad en el rendimiento laboral, el aumento de la probabilidad de que ocurran accidentes y las repercusiones en las funciones cognitivas.

Es decir, el ruido es considerado como un factor potencial de riesgo para la seguridad, concentración y en la comunicación de quienes se exponen a él. Este tipo de contaminación, a pesar que existen leyes que la combaten, siempre está presente, y su mayor generador es el hombre. Se hace necesario que más que las leyes, sean las propias personas que hagan conciencia el daño que están causando a los demás.

Por otro lado, lejos de ser patologías banales, los problemas relacionados con el ruido en el ambiente incluyen múltiples afecciones en la salud del ser humano, e incluso con un aumento del riesgo de patologías cardiovasculares más graves como infartos. Así también, la exposición a la que nos vemos expuestos puede dañar las células sensoriales del oído interno y producir lesiones auditivas de diferente gravedad.

Diferentes son las circunstancias que pueden hacer que unas personas perciban más, el ruido que otras. Los niños, por encontrarse en la edad de crecimiento y desarrollo, son los más susceptibles a los efectos dañinos que produce el ruido al organismo. Armijos, M. D., Quiroz, J. P., Mantuan, C. L., & Montalván, A. M. (2019).

De acuerdo con lo que manifiesta el autor, se puede inferir que es importante saber que los efectos del ruido pueden ser acumulativos. Además de afectarnos directamente a la salud, el ruido nos impide comunicarnos por medio de la palabra hablada, esto perjudica, especialmente, a los niños, ya que les impide comprender las palabras nuevas o más difíciles, dificultando el aprendizaje y desmejorando su salud.

Estamos acostumbrado a soportar más ruido al que deberíamos permitir. De datos obtenidos por la OMS, se ha conocido que, si en su entorno se supera un ruido constante de 80 decibeles, sufres el riesgo de pérdida auditiva o hipoacusia (disminución de la capacidad auditiva), lo que sería un problema de discapacidad que no es reversible.

Se conoce que, pasear por una zona de tráfico intenso, en una ciudad, puede superar este límite de contaminación acústica. Es decir, que el ruido que soportamos día tras día tiene efectos negativos en la salud, tanto para los niños como para los adultos, desde un simple dolor de cabeza, hasta problemas muy serios como la afección al sistema nervioso.

La OMS (2018), recomendó que: los niveles de ruido no superen los 53 decibelios. Es importante indicar que esa recomendación es inviable en las ciudades, teniendo en cuenta que el tráfico de los coches supera los 80 decibelios, así como los dispositivos portátiles (pueden generar hasta 130 decibelios), que en la actualidad se han convertido en una de las formas más comunes de entretenimiento de niños y adolescentes.

La OMS y otros organismos relacionados con la salud, han coincidido en que el ruido puede provocar auténticos estragos en la salud de niños y adultos. Estos organismos apuntan a que las consecuencias pueden ser fisiológicas (dolor, pérdida de la audición, etc.), pero también psicológicas (irritabilidad, bajo rendimiento escolar, etc.). Así mismo la OMS efectos del ruido en la salud de los niños, tales como: Cefalea,

estrés, hipoacusia, problemas para dormir, fatiga, depresión, Zumbidos o acúfenos, hipertensión, cambios en el aparato digestivo, descenso del rendimiento.

La contaminación acústica se refiere a los niveles indeseables de ruidos causados por la actividad humana que interrumpen el nivel de vida en el área donde se produce. La contaminación acústica puede provenir de diferentes orígenes. Machado, J. A. L. (2018).

Se puede deducir que el ruido es tremendamente dañino para el ser humano, ya que, si este está expuesto a una cantidad determinada de decibeles, puede sufrir de sordera en diferentes niveles, de acuerdo con la intensidad del ruido y al tiempo de exposición a que esté sometido. Hay estudios que evidencian que los problemas de sordera aparecen a edades cada vez más tempranas. La contaminación acústica es, una de las principales causas del aumento de esta dolencia en jóvenes y adolescentes.

Es importante definir que para unas personas el ruido es un sonido admisible, pero para otras es un ruido desagradable; es decir, hay personas que son más sensibles, que otras, al ruido. A pesar de aquello, es necesario reducir la contaminación acústica que tantos efectos negativos tiene en la salud de todos. Por otra parte, la pérdida de la audición es la patología más común para personas sometidas a una contaminación excesiva. Para evitar daños físicos o psicológicos que produce el ruido constante, el organismo se habitúa al mismo a costa de perder capacidad auditiva.

Cuando se habla del efecto nocivo del ruido, podemos mencionar que depende de la susceptibilidad de cada persona, unos oídos se dañan con más facilidad que otros. La susceptibilidad auditiva varía, enormemente, de una persona a otra, pero los más perjudicados son los niños ya que ellos no tienen defensas en su cuerpo para soportar ciertos decibeles de ruido por encima de lo soportable y eso sí que es un problema serio de salud.

En el año 1972, la Organización Mundial de la Salud realiza su primera declaración internacional sobre el ruido, en el que decide catalogarlo

como un tipo de contaminación; siete años más tarde la Conferencia de Estocolmo lo clasifica como un agente contaminante específico, para luego ser ratificada por la Comunidad Económica Europea y definirlo como un agente contaminante acústico debido a los efectos negativos en la audición. Álvarez I, Méndez J, Delgado L, Acebo F, Armas J, Rivero (2017).

Se puede inferir que, el ruido es un contaminante que tiene el potencial de afectar la salud de las personas y deteriorar su calidad de vida. La exposición a altos niveles de ruido conlleva, principalmente, efectos fisiológicos que se relacionan directamente con alteraciones en el oído, como la pérdida total o parcial de la audición, es decir, es un contaminante que puede discapacitar a una persona de acuerdo a la intensidad y al tiempo de exposición.

Es importante mencionar que, el nivel de ruido recomendado por la OMS para garantizar una buena salud y bienestar de las personas expuestas, es de 65 dB. Si la exposición es superior a 85 dB, ya hay riesgo de pérdida auditiva crónica. Mientras que, si la exposición se repite en el tiempo y por encima de 100 dB, hay riesgo de pérdida inmediata. Por aquello es que el ruido se engloba dentro del término contaminación acústica.

Por otro lado, se conoció, por medio de estudios realizados sobre el tema, que una persona sufre de traumatismo acústico agudo, cuando hay una exposición a un ruido único de muy corta duración, pero de muy alta intensidad, son los llamados ruidos de tipo impulsivo (una explosión, un disparo, petardo, etc.), también puede producirse por determinados ruidos industriales o los generados en discotecas o conciertos.

Así también se conoció, que el traumatismo acústico crónico, llamado también daño auditivo inducido por el ruido, es la pérdida auditiva continua, permanente y acumulativa, de origen neurosensorial, que tiende a desarrollarse de forma gradual o al pasar de los años, como consecuencia de estar expuesto a niveles de ruido ambiental o laboral perjudiciales, de tipo continuo o intermitente, de muy alta intensidad.

Así mismo se conoció que, si la exposición al ruido es por una sola vez, la lesión del oído interno y la pérdida de la audición pueden ser temporales, durante minutos, horas o días, esto puede causar una sordera moderada; pero, si la exposición es repetitiva, la lesión del oído interno puede producir una pérdida auditiva permanente, es decir puede provocar una sordera permanente.

Las personas sometidas a grandes ruidos de forma continua experimentan daños para la salud, como trastornos fisiológicos, pérdida de capacidad auditiva, alteración de la actividad cerebral, cardíaca y respiratoria, entre otros (OMS 1995).

De acuerdo con esta aseveración se puede mencionar que, los efectos de la contaminación acústica sobre la salud se manifiestan en personas que, en su ambiente laboral, se ven sometidas a altos niveles de ruido que degeneraban el sistema auditivo, y otros problemas como dolores de cabeza y ansiedad. Según estudios realizados, la pérdida de la audición no se recupera, aunque no suelen aparecer trastornos en la comunicación; pero si la constante exposición al ruido continua, estas lesiones se pueden extender hasta las células sensoriales, las cuales van a ocasionar un deterioro en la habilidad de comunicación.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), 466 millones de personas sufren, a nivel mundial, déficit auditivo, de las cuales 432 millones son adultos, dicha pérdida auditiva puede ser ocasionada por múltiples factores como: congénitos, hereditarios, infecciones crónicas del oído, uso de sustancias ototóxicas, envejecimiento y exposición al ruido. OMS. Organización Mundial de la Salud.

En lo que respecta al Ecuador, de acuerdo con la Constitución de la República, tal como se establece en el artículo 14 y siguientes, garantiza el derecho de las personas a un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, pero este derecho, en ocasiones, se encuentra vulnerado, en este caso nos enfocaremos al agente o contaminante del ruido excesivo, al que, en ciertas horas del día, perjudica la salud de la población. Para ello, la OMS en los últimos años, estableció un sinnúmero de estudios comparativos que revelaron el grado de contaminación acústica en el Ecuador.

Ecuador presenta una prevalencia del 5% de discapacidad auditiva en la población general, que se correlaciona con la prevalencia en Brasil (Canoas) del 7.3%, Nigeria 4.4 a 7.6%, Vietnam 7,8% y China (Jiangsu) 4,8%. (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2009).

De acuerdo con estas cifras, se puede mencionar que, el ruido es un contaminante ambiental que afecta la calidad de vida de las personas a nivel mundial. Las personas expuestas pueden predecir múltiples afectaciones a la salud. La contaminación sonora afecta diferentes escenarios, uno de ellos son los lugares donde existe gran cantidad de personas trabajando en negocios formales e informales. Las personas que laboran están expuestas constantemente, por tanto, son más susceptibles a este factor de riesgo, al igual que las personas que acuden a realizar compras al lugar.

El ruido es una de las principales fuentes de molestia para la población y el ambiente, causando problemas de salud y alterando las condiciones naturales de los ecosistemas. Este tipo de contaminación se presenta a mayor escala en los grandes conglomerados urbanos, ocasionando, muchas veces, lesiones fisiológicas y psicológicas que suelen detectarse cuando el daño es irreversible. Se debería realizar auditorías ambientales y reporte de monitoreo ambiental, ejecutados con metodología estandarizada y mediante laboratorios acreditados.

Según el MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador), los sonidos con mayor intensidad, provienen de diversas fuentes, como: Industria, tráfico de vehículos, construcciones y eventos deportivos, entre otras. En este sentido, el MAE ha expedido la normativa sobre “Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas, fuentes móviles y vibraciones”, y una “Norma de ruidos de aeropuertos”, que se presenta en el Anexo 5 y Anexo 9 del libro IV del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA). En este documento se establece los límites máximos permisibles de ruido para fuentes fijas.

En Ecuador alrededor de 67,621 personas, de la población total, presentan discapacidad auditiva de afectación considerable, con rango de edad entre 26 y 64 años. CONADIS.

En relación con lo expuesto anteriormente, el resultado de las cifras transmitidas por estas organizaciones promueve la importancia de marcar un precedente como método de prevención ante un problema auditivo de tipo adquirido, de manera que se establezca una concienciación en las personas que se encuentran expuestas a niveles de ruido elevado. Los principales efectos del ruido se han considerado como auditivos y extra auditivos, estos además pueden aumentar el nivel de estrés o de irritabilidad, lo que también influye en las actividades mentales como la manera de concentrarse.

Es importante recordar que la exposición prolongada a ruidos intensos y repetitivos, constituye uno de los principales problemas de salud ambiental, especialmente en los sectores urbanos. Las ciudades se han transformado en el escenario perfecto para la proliferación de la contaminación acústica, y las personas mayores son, especialmente, vulnerables, a los trastornos que de ella se derivan. Es importante citar que, la contaminación acústica es un concepto que engloba todos aquellos sonidos que, por sus características de forma e intensidad, pueden ser considerados como ruido.

Los efectos auditivos están en correlación a la pérdida de la capacidad auditiva de las personas expuestas (el daño auditivo no sólo depende de su nivel, sino de su duración), sí, se acepta que un medio ambiente sonoro por debajo de 75 dB no es dañino para la salud auditiva. Los no auditivos son los que pueden generar estrés por perturbar el sueño, por ser trastornadores de las actividades humanas cotidianas o por efectos en el comportamiento humano. Toribio, L. A., Aranguren, D. C., Ruiz, D. M., & Maqueda, M. J. R. (2011).

De acuerdo con el autor, la pérdida de la capacidad auditiva de las personas no es solamente por la intensidad del ruido, sino que también por el tiempo que se encuentra expuesto a un ruido que esté sobre los 75 dB. Así mismo existen ruidos que puede llevar al estrés e insomnio a las personas. Un estudio reciente realizado en Suecia, ha determinado que aún a bajos niveles, la generación de ruido vehicular crea molestias, perturbando el sueño; por lo que, pueden sufrir de insomnio, sobre

todo en ciudades más pobladas o de quienes vivan en el área de mayor afluencia de personas.

La contaminación sonora, representa un problema ambiental para el hombre por las afectaciones a la salud que pueden ocasionar, los peligros por ruido actualmente están identificados como un gran problema a resolver por la salud ambiental, son las formas de energía potencialmente nocivas en el ambiente, que pueden resultar en peligrosidad inmediata o gradual de adquirir un daño cuando se transfiere en cantidades suficientes a individuos expuestos. La liberación de energía física puede ser súbita y no controlada, como el caso de un ruido fuerte explosivo o mantenido y más o menos bajo control como en las condiciones de trabajo con la exposición a largo plazo a niveles inferiores de ruido constante. Amable Álvarez, I., Méndez Martínez, J., Delgado Pérez, L., Acebo Figueroa, F., de Armas Mestre, J., & Rivero Llop, M. L. (2017).

De acuerdo con el autor, se puede mencionar que el ruido de la forma que viniere es un peligro latente para las personas que están expuestas temporal o permanentemente. Hay que evitar estar en contacto con el ruido para así evitar futuras dolencias, especialmente en el aparato auditivo. Se puede mencionar que, el ruido es el contaminante más barato de producir, necesita muy poca energía para ser emitido, es complejo de medir y cuantificar, no deja residuos, no tiene un efecto acumulativo en el medio, pero si puede ser acumulativa en sus efectos en el hombre, tiene radio de acción mucho menor que otros contaminantes.

La contaminación acústica se percibe solo por un sentido: el oído, lo cual hace subestimar su efecto. Actualmente la contaminación acústica es una de las mayores preocupaciones en las áreas urbanas. De hecho, ha crecido desproporcionadamente en las últimas décadas. Machado, J. A. L. (2018).

Se puede mencionar que, a diario estamos expuestos a sonidos en nuestro ambiente, como lo son la radio y televisión, aparatos electrodomésticos y el tráfico. Regularmente oímos estos sonidos a niveles que no afectan el oído. Sin embargo, los ruidos muy altos pueden ser dañinos, aunque duren poco tiempo. Estos ruidos pueden dañar las estructuras delicadas del oído interno, causando pérdida de audición.

La presencia del ruido en la vida del ser humano ha causado un sinnúmero de problemas y afecciones, que en su gran mayoría han deteriorado su calidad de vida, puesto que múltiples factores como la exposición al ruido ambiental, laboral y la falta de concienciación sobre la afectación en este órgano sensorial. Por esta razón nace la necesidad de investigar la influencia de este fenómeno en el ser humano y su salud auditiva. A propósito de la influencia de este contaminante, han sido varios autores quienes dedican tiempo a indagar y brindar aportes significativos para la sociedad, considerando que el mismo tiene una influencia radical en la vida diaria.

Ruidos ambientales diversos medidos en decibeles: Ver (Tabla 1.)

En el año 2015 en Perú, los autores Rojas Velarde, Susan; Sánchez Cornejo, Cinthya y Meza Victoria Hugo, elaboraron una investigación sobre hipoacusia inducida por ruido, en trabajadores de la construcción civil de la Constructora Inarco del Centro Comercial Real Plaza Huancayo, contando con la participación de 132 trabajadores de los cuales el 21,97% presentaron hipoacusia unilateral entre leve y moderada; 12,12% hipoacusia bilateral y el 65,91% audición normal.

De acuerdo con lo expuesto por el autor, se puede mencionar que, la cuarta parte de las personas de esa empresa han sufrido hipoacusia unilateral, es decir, la pérdida de audición en uno de los dos oídos así también manifiesta que la octava parte de los empleados, sufrieron hipoacusia bilateral; es decir, la pérdida de audición en ambos oídos. Esto nos indica que las personas, cuando estamos expuestos a ruido sobre el nivel permitido y tiempo prolongado, pueden perder la capacidad de escuchar de uno o ambos oídos y eso se conoce como hipoacusia.

La hipoacusia es un problema de salud que se incrementa debido a la exposición al ruido de alta intensidad y en tiempos prolongados, y esto da origen a otro gran problema que enfrentan las personas como es la incapacidad para la comunicación interpersonal, a esta dolencia se la conocido como socioacusia. Es decir, que no solamente los trastornos son fisiológicos, sino que, son psicológicos, como podemos ver estamos frente a un peligro inminente que amenaza con poner en condición de discapacidad a las personas.

En Ecuador en el año 2017, Samaniego Armijos Álvaro y Tamayo Clavijo Rómulo, realizan un estudio sobre: La prevalencia de hipoacusia en trabajadores de campo y administrativos de la empresa noroccidental del Ecuador. El estudio cuenta con 200 trabajadores a quienes se les aplicó una audiometría, los resultados indican que el 23% del total de la población presentan hipoacusia, siendo prevalente en trabajadores del sector operario en un 83% en relación con el sector administrativo. Dicha deficiencia auditiva ocurre con frecuencia en edades entre 41 a 60 años.

Se puede mencionar que las personas que se encuentra expuestas a ruido por un tiempo determinado, pueden sufrir de pérdida de la capacidad de escuchar. Podemos mencionar que la hipoacusia inducida por ruido es un problema de salud que se incrementa cada vez más. Debemos entender que las personas, además de tener la necesidad de comunicarse con los demás, los trabajadores deben ser capaces de escuchar los avisos y llamados que se hacen por medio de altavoces de las empresas, así como las alarmas de fuego, las alarmas que indican la urgencia de evacuar algún lugar y las señales de vehículos en la marcha en retroceso.

La buena audición ayuda a los trabajadores a evitar accidentes y a reducir la incidencia de lesiones graves. Los estudios comprueban que los trabajadores en ambientes con altos niveles de ruido, pierden más tiempo, debido a accidentes y son menos productivos que los que están expuestos a niveles más bajos de ruido. Por eso la importancia de tener una cultura de disminuir el ruido ambiental.

1.1.1 Formulación del problema

¿Cuáles son los tipos de afectación en el sistema auditivo de las personas, expuestas al ruido ambiental por un tiempo determinado, en el casco comercial de la ciudad de Babahoyo, 2022?

- ¿Los niveles de ruido producidos por el ruido ambiental en el casco comercial de la ciudad de Babahoyo, superan los estándares de calidad para el ruido, 2022?
- ¿Cuáles son las zonas de mayor riesgo expuestas a altos niveles de ruido ambiental en el casco comercial de la ciudad de Babahoyo, 2022?
- ¿En qué horario se presentan niveles más altos de ruido producidos por el ruido ambiental en el casco comercial de la ciudad de Babahoyo, 2022?
- ¿Cuál es la percepción de la población respecto al nivel de ruido producido por el ruido ambiental en el casco comercial de la ciudad de Babahoyo, 2022?
- ¿Cuál es el Modelo Matemático que puede ayudar a predecir la afectación de ruido en las personas?

1.1.2 Objetivo general y objetivos específicos

1.1.2.1 Objetivo general

Evaluar los parámetros de los niveles de ruido y su afectación a las personas, mediante el estudio de campo y mediciones apropiadas, para crear un Modelo Matemático que prediga la afectación del ruido en las personas que habitan, circulan y trabajan en la ciudad de Babahoyo.

1.1.2.2 Objetivos específicos

1. Establecer la importancia del estudio de la afectación en la salud humana por medio de ruido ambiental.
2. Realizar mediciones con procedimientos técnicos científicos de campo, a fin de obtener los niveles de contaminación sonora.

3. Implementar un Modelo Matemático que prediga el grado de afectación sonora en las personas

1.1.3 Planteamiento hipotético

El estudio de este tema de investigación se lo realiza en el casco comercial de la ciudad de Babahoyo, específicamente en las intercepciones de las calles 5 de junio, Bolívar, García Moreno y Calderón, se ha escogido este lugar ya que es el lugar con más ruido en la ciudad y por lo tanto las personas que habitan, trabajan y/o circulan por el lugar son afectados por este tipo de contaminación especialmente en la parte auditiva. Este estudio se centra en las personas que laboran en el sector, ya que ellas están más expuestas y esto se debe a que permanecen en el lugar durante las horas donde existe la mayor cantidad de ruido, y esas son las horas laborables.

Esta problemática del ruido se ha dado durante mucho tiempo por ser un lugar netamente comercial, es por eso que es necesario realizar este estudio para para medir la intensidad de ruido causante de la contaminación acústica por un tiempo determinado. Se analizarán estudios realizados y posibles soluciones que se han planteado.

Para lo cual se plantean las siguientes hipótesis:

1.1.3.1 Hipótesis General

Mediante un modelo matemático, creado a partir de parámetros obtenidos mediante estudio de campo, se puede predecir si el ruido ambiental afecta o no a las personas que se encuentran expuestas.

Hipótesis Específicas

1. El ruido ambiental causa afectación en la salud de las personas.
2. El realizar mediciones con procedimientos y aparatos técnicos científicos de campo, se pueden obtener niveles de contaminación sonora.
3. La implementación de un modelo matemático, puede predecir el grado de afectación sonora en las personas.

Para nuestro estudio se ha planteado realizar un modelo matemático ayudado de un software que grafique la curva de afectación en el sistema auditivo en las personas que se encuentran expuestas durante tiempos determinados.

1.1.3.2 Interrogantes de la investigación.

- ¿Con los datos de una medición de ruido se puede predecir, matematicamente, el grado de afectación sonora en las personas?
- ¿Es importante estudiar la afectación del ruido ambiental a las personas?
- ¿Un modelo matemático puede predecir el grado de afectación a las personas que están expuestas?

CAPÍTULO II

Marco Teórico.

1.1.4 Antecedes de la investigación.

El derecho al buen vivir constituido, históricamente, por los pueblos indígenas como un medio de transformación a un nuevo esquema constitucional, es un principio constitucional actual no establecido en las fuentes del derecho, reflejando la inclusión de un nuevo paradigma conceptual de saberes ancestrales; es decir, que, al momento de referirse al buen vivir, se debe reflejar desde la normativa anterior a la actual.

El Sumak Kawsay es un principio filosófico, que tiene una significación y un contenido preciso, cuyo origen es el pensamiento indígena. (Ávila Santamaría, 2008)

Esto significa que establece la protección que gozan los ciudadanos ecuatorianos, de los derechos garantizados en la constitución, fortaleciéndose como un mecanismo vinculador dentro de un proceso de reformas normativas que permite el nuevo estilo

de convivencia, en donde prevalecerán los principios fundamentales garantizados en la norma suprema.

La Constitución del Ecuador del 2008, refleja al buen vivir en varias secciones y artículos, en los cuales se establece que son deberes del Estado, planificar el desarrollo para acceder al buen vivir, es de esta manera que en el artículo 3, numeral 5, establece que el Estado tiene el deber de planificar el desarrollo nacional, erradicar la pobreza, promover el desarrollo sustentable y la redistribución equitativa de los recursos y la riqueza, para acceder al buen vivir.

El artículo 275 de la Constitución del 2008, preceptúa que: El régimen de desarrollo es el conjunto organizado, sostenible y dinámico de los sistemas económicos, políticos, socio culturales y ambientales que garantizan la realización del buen vivir del sistema Sumak Kawsay. El Estado planificará el desarrollo del país para garantizar el ejercicio de los derechos, garantizará este derecho, mediante políticas económicas, sociales, culturales, educativas y ambientales, en el Art. 32 de la misma norma legal. (Constitución de la República del Ecuador, 20 de octubre del 2008)

El medio ambiente se define como la fuente de todos los recursos utilizados por el ser humano. Es un sistema formado por elementos naturales y artificiales interrelacionados, que pueden ser modificados por la acción humana. Encierra factores físicos (como el clima y la geología), biológicos (La población humana, la flora, la fauna, el agua) y socioeconómicos (La actividad laboral, la urbanización, los conflictos sociales). OBELA (Observatorio Económico Latinoamericano). 2018.

De acuerdo con lo anterior, el ruido es, efectivamente, una señal indeseable, aunque el uso del término señal es discutible, ya que el ruido no representa información, excepto en casos muy aislados. El ruido, la distorsión y la interferencia juegan un papel muy importante en los sistemas de contaminación, ya que limitan la calidad de la señal de información, si bien su naturaleza es completamente diferente. El ruido es, esencialmente, aleatorio, tanto en amplitud como en fase, en tanto que la

distorsión y la interferencia siguen, por lo general, patrones determinados, con frecuencias difíciles de identificar.

Según estudios de la Organización Mundial de la Salud, el ruido ambiental tiene efectos adversos sobre la salud de las personas. Deficiencia en la audición, trastornos del sueño y la conducta, merma en el rendimiento y disfunciones psicológicas o de salud mental, son algunas de las consecuencias de los altos niveles sonoros en la sociedad actual.

Se llama contaminación acústica a las perturbaciones acústicas del medio. El término contaminación acústica hace referencia al ruido, entendido como sonido excesivo o molesto, que puede ser provocado por actividades humanas (tráfico, industria, lugares de ocio, entre otros.) y que produce efectos negativos sobre la salud auditiva, física y mental de las personas y animales.

Los efectos sobre la salud y un nivel a partir del cual se puede producir afecciones a la salud, según la Organización Mundial de la Salud. Ver Tabla 5.

El ruido es un fenómeno natural, inevitable y generalmente incontrolable. En otras palabras, el ruido siempre estará presente en cualquier sistema de comunicaciones, y contribuirá en mayor o menor medida, al deterioro de la señal a la salida del receptor, además de constituir el principal factor limitante en su detección.

El reconocimiento del ruido, como un peligro para la salud, es reciente y sus efectos han pasado a ser considerados un problema sanitario cada vez más importante. El ruido es la primera causa de contaminación en Francia, y la segunda en toda Europa.

De acuerdo con el autor, ruido es un sonido desagradable y molesto, por niveles no necesariamente altos que son, principalmente, nocivos para el aparato auditivo y el bienestar psíquico; es decir, es un sonido no deseado. La contaminación sónica, es uno de los grandes problemas de la sociedad moderna a escala mundial. Estos perjuicios varían desde los trastornos puramente fisiológicos, como la pérdida progresiva de audición, hasta los psicológicos, al producir una irritación y un

cansancio que provocan disfunciones en la vida cotidiana, tanto en el rendimiento laboral, como en la relación con los demás.

El ruido se define como un sonido indeseable, el sonido viaja en forma de ondas en el medio aéreo (o los cambios de presión), lo que produce la vibración del tímpano, el tímpano transfiere estas vibraciones a tres huesos minúsculos en el oído medio, los que a la vez comunican las vibraciones al fluido contenido en la cóclea (en el oído interno). Dentro de la cóclea se hallan las pequeñas terminales nerviosas, usualmente conocidas como células ciliadas. Ellas responden a las vibraciones del fluido enviando los impulsos nerviosos al cerebro, que entonces interpreta los impulsos, como un sonido o ruido. Młyński R, Kozłowski E. 2015.

De acuerdo al autor, los sonidos intensos producen ondas mayores, que los menos intensos. Estas ondas mayores, producen mayores vibraciones dentro del oído, que pueden dañar las células ciliadas. A veces el daño es temporal y se repara naturalmente después de unos minutos o días. El reconocimiento del ruido como un peligro para la salud es reciente, y sus efectos han pasado a ser considerados un problema sanitario cada vez más importante.

La exposición prolongada al ruido, ya sea que estemos desarrollando acciones de la vida cotidiana o en el puesto de trabajo, puede causar problemas de salud, como hipertensión y enfermedades cardíacas. El ruido puede afectar adversamente a la lectura, la atención, la resolución de problemas y la memoria. De acuerdo a estudios científicos, el ruido con niveles por encima de 80 dB, puede aumentar el comportamiento agresivo.

Dibujo del oído interno como externo. (Gráfico 1)

El zumbido del oído que no experimenta después de asistir a un concierto de música fuerte es un síntoma común de este daño temporal, a altas intensidades de ruido, sin embargo, el daño resulta permanente, porque las células ciliadas, como todas las células

nerviosas, no pueden reemplazarse y presentan muy limitada capacidad para repararse a sí misma. Rodríguez Fernández Y, Alfonso Muñoz E.

Según el autor se puede mencionar que, el incremento de la intensidad del sonido aumenta el riesgo de pérdida del sentido de la audición. Así también se puede mencionar que el riesgo de sufrir la pérdida de sensibilidad auditiva comienza con la exposición prolongada a sonidos de aproximadamente 75 dB. En la medida que la intensidad aumenta, la longitud del tiempo de exposición, que ocasiona disminuciones de sensibilidad auditiva, decrece. La exposición a ruido en el trabajo está demostrada que es perjudicial para la salud de los trabajadores, siendo el efecto más conocido, la pérdida de la audición.

Los efectos provocados por el ruido en el ser humano son muy amplios y algunos de ellos pueden producir efectos fisiológicos y psicológicos nocivos para una persona o grupo de personas. los efectos fisiológicos se dan en la parte física del cuerpo humano, principalmente al oído; los efectos psicológicos están relacionados al cambio de la conducta humana, como son: irritabilidad, cansancio, estrés, falta de concentración, falta de sueño y relajación, bajo rendimiento académico y profesional, entre los más importantes. Gordillo, G., & Santiago, J. (s. f.). *Determinación de niveles de presión sonora (NPS), generados por las aeronaves, en el sector sur del aeropuerto Mariscal Lamar de la ciudad de Cuenca*. 169.

Se puede mencionar que, el ruido simula ser uno de los contaminantes más inofensivos, ya que es percibido, principalmente, por un solo sentido, el oído, sus efectos pueden ser inmediatos y acumulativos. El ruido lleva implícito un fuerte componente subjetivo. Un mismo sonido puede ser considerado un elemento molesto para unas personas, mientras para otras no. Esto depende de las características del receptor y del momento que se produce el ruido, así como también, de la intensidad del ruido y del tiempo.

Efectos Psicológicos o psicosociales

1) Interferencia en la comunicación:

Un ruido de fondo con niveles superiores a 40 dB (A) provocará dificultades en la comunicación oral que solo podrá resolverse, parcialmente, elevando el tono de voz. A partir de 65 dB (A) de ruido, la conversación se torna, extremadamente, difícil. Chávez, Juan, “Ruido: Efectos sobre la salud y criterio de su evaluación al interior de recintos”, Ciencia & Trabajo, No. 20, Abril/Junio/2006, p. 43.

Por lo mencionado por el autor, se puede indicar que el ruido es uno de los factores más notorios es la interferencia de la comunicación. El ruido enmascara a la voz; esto se da cuando un ruido intenso irrumpe el diálogo, este se discontinúa parcial o totalmente, en el caso que el ruido no tenga la intensidad sonora suficiente para ocultar por completo la comunicación oral, será necesario hacer un esfuerzo vocal adicional para sostener la comprensión del mensaje (cuando una persona desea comunicarse en ambiente con alto nivel de ruido sonoro, eleva involuntariamente la potencia de su voz.

2) Malestar, pérdida de atención

El ruido por encima de 80 dB (A) también puede reducir la actitud cooperativa y aumentar la actitud agresiva. Así mismo, se cree que la exposición continua a ruidos de alto nivel puede incrementar la susceptibilidad de los escolares a sentimientos de desamparo. Chávez, Juan, “Ruido: Efectos sobre la salud y criterio de su evaluación al interior de recintos”, Ciencia & Trabajo, No. 20, Abril/Junio/2006, p. 43.

De acuerdo al autor, se puede mencionar que las personas que sufren la contaminación por el ruido, hablan de intranquilidad, inquietud, desasosiego, depresión, desamparo, ansiedad o rabia. Un ruido repentino puede producir

distracciones que reducirán el rendimiento en muchas actividades de un trabajador, estudiante; especialmente aquellos que exijan un cierto nivel de concentración, surgiendo errores y disminuyendo la calidad del desempeño.

3) Estrés

Según la Organización Mundial de la Salud, el ruido excesivo es factor constante de estrés y causa importante de mortandad en todo el mundo; el estrés que se produce por el exceso de ruido aumenta la agresividad, nos sentimos nerviosos, irritables y eso lleva a que todos nuestros músculos se contraigan involuntariamente. Gordillo, G., & Santiago, J. (s. f.). *Determinación de niveles de presión sonora (NPS), generados por las aeronaves, en el sector sur del aeropuerto Mariscal Lamar de la ciudad de Cuenca*. 169.

De acuerdo al autor se puede mencionar que el ruido puede llegar a ocasionar trastornos en el comportamiento de las personas y eso atenta a la buena convivencia y el buen vivir entre pares, y esto es conocido como la socioacusia, que no es otra cosa que, la dificultad de comunicarse con los demás. Es necesario que se realicen los estudios respectivos necesarios, con la finalidad de disminuir este mal que puede afectar, considerablemente, la calidad de vida de las personas e inclusive puede ocasionar la muerte.

Efectos Fisiológicos:

Este efecto se relaciona con el oído, dado que este es el principal órgano receptor de los sonidos, y es el primer órgano afectado ante una exposición al ruido. El efecto psicológico más estudiado es la pérdida de la audición, se debe a que es la patología más directa producida por el ruido. Gordillo, G., & Santiago, J. (s. f.). *Determinación de niveles de presión sonora (NPS), generados por las aeronaves, en el sector sur del aeropuerto Mariscal Lamar de la ciudad de Cuenca*. 169.

Estos efectos incluyen todas aquellas alteraciones sobre el normal funcionamiento del organismo que se producen como consecuencia de la exposición al ruido, se puede mencionar que todo esto depende de las características personales de cada individuo, ejemplo, efectos cardiovasculares, gastrointestinales, respiratorios, etc. Existen otras alteraciones físicas que pueden ser advertidas por el individuo expuesto al ruido, como es el caso de la fatiga corporal, náuseas, dolor de cabeza, etc.

- 4) Neuroendocrinos: Como respuestas al estrés que genera, se descargan neurotransmisores que pueden alterar otros sistemas, provocar cefalea.

Así mismo según manifiesta el autor, que el ruido es una de las fuentes de contaminación ambiental. El control de ruido, y en su caso, la reducción de ruido es un problema que necesita de un estudio profundo para aplicar leyes que regulen la emisión de esta contaminación. El ruido produce molestias, distracciones, perturbaciones, e incluso si la exposición es muy prolongada, puede producir daños irreversibles para las personas expuestas, en el órgano de la audición. El efecto más observable que existe del ruido sobre las personas es la aparición de hipoacusia.

El déficit auditivo provocado por el ruido ambiental se llama socioacusia. La sordera irá creciendo hasta que se pierda totalmente la audición. Un sonido repentino de 160 dB, como el de una explosión o un disparo, pueden llegar a perforar el tímpano o causar otras lesiones irreversibles. Puede ocurrir un desplazamiento temporal o permanente del umbral de audición. Los efectos no auditivos a más de 60 dB pueden provocar dilatación de las pupilas y parpadeo acelerado. Agitación respiratoria, aceleración del pulso y taquicardias. Aumento de la presión arterial y dolor de cabeza. Menor irrigación sanguínea y mayor actividad muscular. Los músculos se ponen tensos y dolorosos, sobre todo los del cuello y espalda. Efectos no auditivos a más de 80 dB, causan disminución de la secreción gástrica, gastritis o colitis. Aumento del colesterol y de los triglicéridos, con el consiguiente riesgo cardiovascular. Aumenta la glucosa en sangre. Pueden causar efectos psicológicos como insomnio y dificultad para conciliar el sueño, fatiga, estrés, depresión

y ansiedad, irritabilidad, agresividad, histeria, neurosis, aislamiento social. Amable Álvarez, I., Méndez Martínez, J., Delgado Pérez, L., Acebo Figueroa, F., de Armas Mestre, J., & Rivero Llop, M. L. (2017).

Se puede mencionar que el impacto ambiental producido por el ruido se da por la exposición a niveles elevados de ruido ambiental, en recintos donde se desarrolla la actividad laboral. Altos niveles de ruido provocan estrés, cansancio e irritabilidad, problemas cardiacos e inclusive puede llegar a la sordera, aún después de haber sido expuesto a este fenómeno.

Los ruidos son parte de nuestra vida cotidiana y desde hace muchos años se han venido haciendo estudios profundos para encontrar una solución que conlleve a erradicar este tipo de contaminación. Continuamente estamos expuestos a fuentes sonoras del entorno natural, laboral y social, en general a niveles que no representan peligro para la salud. Se puede manifestar también que, los ruidos son sonidos fuertes que molestan para el cumplimiento de nuestras actividades, se la conoce como contaminación sonora.

1.1.5 Bases Teóricas

Es sabido que el ruido es uno de los problemas ambientales más relevantes con los que conviven los seres humanos. Su dimensión, en la afcción de la sociedad es variada y de difícil enfrentar, ya que las fuentes que lo producen forman parte de la vida cotidiana de las personas, tales como, los medios de transporte, las actividades industriales, las actividades comerciales, etc., son actividades cotidianas que realiza el ser humano en su diario vivir.

Es una gran preocupación de la población actual, con peso en la legislación laboral y cada vez más en la relacionada con la población general. En los últimos años son numerosas las sentencias que reconocen el ruido como un factor de riesgo sanitario y la legislación laboral reconoce a la hipoacusia o sordera como accidente de trabajo causado por el ruido.

En la medida en que estamos expuestos a factores que generan malestar, nos estamos alejando de la definición de salud dada por la Organización Mundial de la Salud que refiere al completo estado de bienestar físico, mental y espiritual. Por otra parte, dado el carácter subjetivo de la molestia, su evaluación requiere la aplicación de herramientas que permitan hacer un análisis objetivo de la misma. Vechiatti, N. S., Iasi, F. M., Armas, A. A., & Tomeo, D. A. (2020). Evaluación de impacto acústico en la salud de personas expuestas a ruido industrial.

Se puede mencionar que el ruido acústico es un agente físico que cada vez está más presente en la vida diaria de los habitantes de las grandes ciudades. Es un agente cada vez más molesto y actualmente se lo considera como factor de riesgo para la salud. Entre sus efectos negativos el más importante es la pérdida de audición. Esta pérdida de audición puede deberse a diferentes causas, como, por ejemplo: la edad, ruido en el lugar de trabajo, ruido proveniente de otras actividades, etc.

Las recomendaciones de la OMS sobre los niveles de decibelios a los cuales debe de estar expuesto el ser humano, principalmente los niños, los adultos mayores y los enfermos, es porque el ruido provoca estrés, molestias, irritabilidad, insomnio, dolor de cabeza, náusea, mareos, hipertensión, tensión muscular y hasta problemas cardíacos; por esto, la contaminación acústica no solo es una molestia, sino también una amenaza para la salud pública. Zeledón, D. (2018). Niveles de presión sonora, según la OMS.

Según el autor, debemos conocer que el ruido es una mezcla de sonidos de varias frecuencias, que resulta molesto al individuo, y que en la actualidad se considera un contaminante invisible en el mundo, esto ha generado una gran preocupación sobre todo en nuestras vecindades cercanas al área urbana, en donde la cantidad de vehículos, la desesperación por avanzar más rápido en el tráfico, el uso de las bocinas del vehículo, o el uso de reproductores de música, de manera constante y con volúmenes altos; estos, juegan un papel importante en las emisiones de ruido, de esta manera crea un gran impacto en la salud de los habitantes.

Los niveles de presión sonora son los niveles de variación acústica en un punto determinado, que son emitidas por ondas que se propagan por medio del aire, el ruido se puede expresar como nivel de presión sonora y se representan en unidades denominadas decibel, la cual es una magnitud más exacta y precisa, además de ser más fácil su interpretación. Gómez Casicote, M.D. (2004). Evaluación del ruido ambiental y su potencial impacto sobre la comunidad de la zona comercial. Universidad Distrital de Santander, Bucaramanga, Colombia.

De acuerdo al autor se puede mencionar que, el grado de molestia producido por el sonido no deseado, dependerá no solamente de la intensidad del mismo, sino también de su composición en frecuencias, continuidad, momento de emisión, contenido de información, origen del ruido e incluso en ocasiones de aspectos subjetivos como el estado mental y temperamental del receptor. Los sonidos de origen natural suelen resultar más aceptables, mientras que el ruido más molesto suele ser producido por elementos mecánicos.

1.1.5.1 Ondas Sonoras.

Las alteraciones mecánicas de las partículas producidas por la vibración de un elemento generan las ondas sonoras las cuales son ondas mecánicas longitudinales que se propagan en un medio, Estas ondas tienen amplitud, frecuencia y longitud de ondas, el oído humano puede detectar frecuencias entre 20 y 20000 Hz, sin embargo, también existen sonidos de frecuencias inferiores a este rango llamadas infrasónicas o mayores llamadas ultrasónicas. Normalmente las ondas sonoras se dispersan en todas las direcciones a partir de la fuente emisora.

Considerando que la onda se propaga solo en la dirección x , se puede describir matemáticamente como una función $f(x, t)$ donde t es el tiempo. (Sears, Zemansky, Young, & Freedman, 2018).

$$f(x, t) = A \cos(kx - \omega t)$$

La amplitud de una onda sonora puede definirse en función de su potencia, presión o intensidad.

1.1.5.2 Intensidad sonora.

La intensidad se define como la rapidez con la que la onda transfiere energía por unidad de área.

Suponiendo que la onda se propaga de manera esférica, el área a través de la cual se propaga es el área de la esfera la cual aumenta con el cuadrado de la distancia, por lo que se puede decir que la intensidad disminuye de manera inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente emisora.

Llamando W = Potencia

a = área

I = Intensidad

$$I = \frac{W}{a}$$

Para una onda que se propaga desde una distancia r_1 a una distancia r_2

Área de una esfera $4\pi r^2$

$$I_1 = \frac{W}{4\pi r_1^2} \quad I_2 = \frac{W}{4\pi r_2^2}$$

$$I_2 = I_1 \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2$$

Esta relación muestra que la intensidad acústica decrece con el cuadrado de la distancia. (Sanny & Moebis, 2021).

Para una onda sinusoidal, es posible encontrar una relación matemática en términos de la frecuencia, amplitud y módulo volumétrico el cual depende del medio de propagación.

$$I = \frac{F v}{a}$$

De la definición de presión $p=F/a$,

$$I = \frac{p a v}{a}$$

De donde se obtiene que:

$$I = p v$$

$$I = p(x, t) \frac{\partial y(x, t)}{\partial t}$$

Aplicando a la ecuación de la onda:

$$I = B \omega K A^2 \sin^2(kx - \omega t)$$

(Sears, Zemansky, Young, & Freedman, 2018)

1.1.5.3 Potencia sonora.

Es la cantidad de energía acústica transferida por una onda sonora por unidad de tiempo, determina cuanto ruido produce una fuente emisora de sonido.

El oído humano puede percibir sonidos muy bajos (10^{-12} W/m^2) hasta sonidos muy fuertes (1 W/m^2), este rango es muy amplio y por esta razón se utiliza una escala logarítmica, en la que el nivel de referencia es el mínimo nivel audible.

$$L_w = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2 \text{ Mínimo nivel Audible}$$

1.1.5.4 Fluctuaciones de presión.

Otra forma de describir las ondas sonoras es en función de las variaciones de presión con respecto a la presión atmosférica. En el oído, el tímpano está expuesto a la presión atmosférica en un lado y en el otro la presión que ejerce la onda estableciéndose una diferencia la cual es la que proporciona la información del sonido recibido.

Denominando $p(x,t)$ a la diferencia de presión en el punto x en el instante t , el cambio de volumen en un cilindro imaginario que se expande o comprime por acción de la onda, se relaciona con el cambio de presión y el módulo volumétrico B mediante la siguiente ecuación:

$$B = -p(x,t) \left(\frac{dV}{V} \right)$$
$$p(x,t) = -B \frac{\partial y(x,t)}{\partial x}$$

Y derivando parcialmente la ecuación de la onda

$$p(x,t) = -BkA \sin(kx - \omega t)$$

Por tanto, la máxima variación de presión es BkA (Sears, Zemansky, Young, & Freedman, 2018).

1.1.5.5 Parámetros para evaluación de la molestia del ruido.

La mayor parte de sonidos ambientales, están constituidos por una mezcla compleja de frecuencias diferentes. La frecuencia se refiere al número de vibraciones por segundo en el aire, en el cual se propaga el sonido, y se mide en Hertz (Hz). Por lo general, la banda de frecuencia audible es de 20 Hz a 20000 Hz para oyentes jóvenes de buena audición. Sin embargo, nuestros sistemas auditivos no perciben todas las frecuencias sonoras y, por ello, se usan diversos tipos de filtros o medidores de frecuencias para determinar las frecuencias que producen un ruido ambiental específico. La ponderación A es la más usada y mide las frecuencias inferiores que son menos importantes, que las frecuencias medias y altas.

1.1.5.6 Presión Sonora.

Es la presión que la onda ejerce sobre el punto en observación, se define como la diferencia entre la presión instantánea y la presión atmosférica, (Millan, 2022)

La mayoría de los ruidos ambientales puede describirse mediante medidas sencillas. Todas las medidas consideran la frecuencia del sonido, los niveles generales de presión sonora y la variación de esos niveles con el tiempo. La presión sonora es una medida básica de las vibraciones del aire que constituyen el sonido.

Debido a que el rango de presión sonora que puede detectar el hombre es muy amplio, **se mide en una escala logarítmica cuya unidad es el decibel**. En consecuencia, los niveles de presión sonora no se pueden sumar ni promediar aritméticamente. Además, los niveles de sonido de la mayoría de los ruidos varían con el tiempo, y cuando se calculan, las fluctuaciones instantáneas de presión se deben integrar en un intervalo de tiempo.

Se puede mencionar que la presión sonora es la diferencia entre la presión instantánea debido al sonido, y la presión atmosférica, es el producto de la propagación del sonido, se expresa en micropascales (μPa).

1.1.5.7 Nivel de presión sonora (L_p).

El decibel es una unidad de nivel que denota la relación entre dos cantidades que son proporcionales en su potencia. El número de decibelios que corresponden a esta relación es 10 veces el logaritmo (de base 10) de la razón de las dos cantidades. Las razones de presión sonora no siempre son proporcionales a las razones de potencia correspondientes, pero es práctica habitual ampliar el uso de esta unidad (dB) a tales casos. Harris, Cyril M. Manual de medidas acústicas y control de ruido. Tercera Edición, Editorial McGraw-Hill, Madrid España, 1995, Volumen 2. Capítulo I. P. 1.10

El nivel de presión sonora se expresa en decibeles (dB) y se define por:

5) Nivel de presión sonora ponderada (L_{PA})

$$L_{PA} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_A}{P_0} \right)^2$$

Dónde:

P_0 = Valor de la presión sonora de referencia. $2 * 10^{-5} \left(\frac{N}{m^2} \right)$

P_A = Es la presión sonora evaluada con ponderación (A).

La ponderación (A), es el nivel de molestia auditiva humana en relación a una presión acústica determinada; la curva A, pondera con mayor nivel las frecuencias medias,

luego las altas y por último las bajas. Kogan, Pablo, Análisis de la eficiencia de la ponderación “A” para evaluar efectos del ruido en el ser humano, Valdivia-Chile. Universidad Austral de Chile, pg. 70. Año 2004.

1.1.5.8 Nivel de presión sonora continua equivalente ponderación A ($LA_{eq,T}$)

El efecto de una combinación de sucesos de ruido, está relacionado con la energía sonora combinada de esos sucesos (principio de energía constante). La suma de la energía total durante un periodo de tiempo, da como resultado, un nivel equivalente a la energía sonora promedio en ese periodo. Así, $LA_{eq,T}$ es el nivel equivalente de la energía promedio del sonido con ponderación A en un período T.

Se debe usar $LA_{eq,T}$ para medir sonidos continuos, tales como el ruido del tránsito en carreteras o ruido industriales más o menos continuos. Sin embargo, en sucesos distintivos, como son los casos: ruido de aviones o ferrocarriles, también se deben obtener medidas de sucesos individuales como el nivel máximo de ruido LA_{max} o el nivel de exposición al sonido (NES) con ponderación A. Los niveles de sonido ambiental que varían con el tiempo, también se han representado con porcentajes.

Actualmente, se recomienda suponer que el principio de energía constante, es válido para la mayoría de tipos de ruido y que una medida simple de $LA_{eq,T}$ indicará, adecuadamente, los efectos esperados del ruido. Cuando el ruido consta de un número pequeño de eventos discretos, el nivel máximo LA_{max} es el mejor indicador del trastorno del sueño y otras actividades.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, el nivel de exposición al sonido con ponderación A, proporciona una medida más uniforme de los eventos individuales de ruido, porque integra el evento de ruido completo. Cuando se combinan los valores de $LA_{eq,T}$ del día y la noche, a menudo se suman los valores de la noche. Esos valores intentan reflejar la mayor sensibilidad a la molestia que se espera en la noche, pero no protegen a la población de los trastornos del sueño.

Si no existe una razón para usar otras medidas, se recomienda usar $LA_{eq,T}$ para evaluar los ruidos ambientales continuos. También se recomienda usar, adicionalmente, LA_{max} o NES si el ruido está compuesto por un número reducido de eventos discretos.

Este descriptor permite evaluar el ruido vehicular con las molestias expresadas por las personas, en la que integra el conjunto de sonidos, incluidos los niveles máximos y mínimos (Martínez 2015).

$$L_{AeqT} = 10 \text{Log} \left[\frac{1}{T} \int_{t_0}^t \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \right]$$

Dónde:

$P_A(t)$ = Presión sonora instantánea con ponderación A.

$$P_0 = 2 * 10^{-5} \left(\frac{N}{m^2} \right)$$

T = Periodo de la medición

- **Nivel equivalente mañana-tarde-noche (L_{den})**

Descriptor originado por la Unión Europea para describir el comportamiento del ruido, en los horarios de día, tarde y noche, con una penalización correspondiente de 5 dB (A) para la tarde y 10 dB (A) para la noche (Berglunt, 1999).

$$L_{den} = 10 \log \left[\frac{1}{24} \left(12 \times 10^{\frac{L}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L+10}{10}} \right) \right]$$

- **Nivel equivalente día-noche**

Está definido por la siguiente ecuación:

$$L_{TN} = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30(\text{dB}(A))$$

Siendo:

L_{10} y L_9 definidos como los percentiles, o el nivel que se sobrepasa durante el 10% y el 90% del tiempo de medida, respectivamente.

Como se ha presentado hasta ahora, existen diferentes parámetros utilizados para la medida de la molestia en relación con parámetros objetivos, como son el nivel de contaminación acústica y el índice de ruido de tráfico, aunque están lejos de representar con precisión lo que realmente se percibe por la persona. Por el lado objetivo, la sensibilidad del oído depende, fuertemente, de la frecuencia, del nivel y de la duración del sonido. A esto debemos añadirle el aspecto subjetivo añadido por la persona en el cual afectan cosas como el tipo de ruido, el periodo del día, la edad, etc.

1.1.5.9 Mapa de ruido en las ciudades.

Por medio del mapa de ruido, se puede se puede evaluar el campo sonoro en las ciudades. Según la Directiva Europea sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental, un mapa de ruido se puede definir como: “La presentación de datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un indicador de ruido, en la que se indicará el rebasamiento de cualquier valor límite pertinente vigente, el número de personas afectadas en una zona específica o el número de viviendas expuestas a determinados valores de un indicador de ruido en una zona específica”.

Los mapas de ruido son una herramienta muy útil, utilizados por investigadores que se dedican a realizar investigaciones sobre el ruido ambiental en beneficio de las personas con la finalidad de mejorar su calidad de vida. Según la Directiva Europea 2002/49/CE referente a la evaluación y gestión y gestión del ruido ambiental, los estados miembros se comprometen a la elaboración o aprobación de las autoridades competentes de mapas estratégicos de ruido correspondientes a grandes aglomeraciones de habitantes. Un mapa estratégico de ruido debe representar datos relativos a la situación acústica existente.

En los mapas para aglomeraciones se hará hincapié en el ruido procedente del tráfico rodado. Navarro Ruiz, J. M., & Noriega Linares, J. E. (2018). Las redes de sensores inalámbricas en las ciudades

inteligentes: Aplicación a la monitorización y evaluación de la molestia del ruido de tráfico. Las redes de sensores inalámbricas en las ciudades inteligentes: aplicación a la monitorización y evaluación de la molestia del ruido de tráfico, 241-250.

De acuerdo con el autor, para el presente trabajo de investigación es importante poner más atención en el tráfico rodado en el lugar donde se tomarán las mediciones de los niveles de ruido. El incremento exponencial de medios de transporte a nivel mundial, ha generado impactos negativos, tales como, la contaminación por emisiones, consumo de energía, ruido, contaminación visual, accidentes, etc. Entre estos es el ruido el primero que se detecta y es uno de los contaminantes que afecta de manera más directa a la calidad de vida de los ciudadanos. El transporte es, con mucho, la principal fuente de ruido por delante de la construcción y la industria.

A la hora de realizar un mapa de ruido, nos encontramos con dos metodologías diferenciadas, pero que pueden llegar a ser usadas en conjunto. En el primer tipo se encuentran los mapas de ruido elaborados mediante medidas en campo experimentales. Para estos, se realiza un muestreo del área a medir y se toma medidas en diferentes puntos y en diferentes intervalos del día y año, siguiendo así un muestreo espacial y temporal. Las metodologías de muestreo espacial mediante medidas experimentales más usadas son las de retícula, las de viales de tráfico, las de zonas específicas, las de zonas en función del suelo y la de zonas aleatorias. Navarro Ruiz, J. M., & Noriega Linares, J. E. (2018). Las redes de sensores inalámbricas en las ciudades inteligentes: Aplicación a la monitorización y evaluación de la molestia del ruido de tráfico. Las redes de sensores inalámbricas en las ciudades inteligentes: aplicación a la monitorización y evaluación de la molestia del ruido de tráfico, 241-250.

Se puede mencionar que, dado el alto coste económico y temporal que puede llegar a acarrear un mapa de ruido realizado con mediciones experimentales, en los últimos años ha aparecido otra metodología basada en modelos matemáticos de predicción

de ruido. Según las normas europeas, los mapas de ruido deben estar basados en medidas experimentales, aunque la tendencia es partir de una simulación usando un modelo matemático y a partir de ahí, validar los datos posteriormente con medidas experimentales.

1.1.5.10 Tránsito vehicular en la ciudad

Cruzando población y vehículos matriculados, resulta que hay un automotor por cada siete personas, y la mayoría de los vehículos que circulan en el cantón son de combustión y generan contaminación. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC)

De acuerdo con esta información, no solo explica, en parte, los cada vez mayores y más frecuentes congestionamientos en la urbe, sino que refleja también la falta de políticas más ecológicas de movilidad de parte de sus autoridades. En relación a que la mayoría de los vehículos que circulan en el cantón son de combustión, se puede mencionar que es irracional que circule un vehículo por cada siete personas. En consecuencia, podemos mencionar que el ruido vehicular se ha constituido en una problemática ambiental creciente que se expresa, mayormente, en las ciudades modernas y al cual se le ha prestado poca atención en los países en vía de desarrollo.

Generalmente cuando se habla de desarrollo urbano, se piensa en los grandes beneficios que dicho desarrollo representa a la comunidad del ser humano. En las zonas urbanas, la principal fuente emisora de ruido ambiental, es transporte vehicular, debido al servicio que presta para la realización de actividades cotidianas, lo cual es característico en las ciudades modernas y conforma una problemática poca atendida en los países en vía de desarrollo. Es importante recalcar que el ruido ambiental se encuentra asociado al uso de vehículos, los cuales lo generan a través de sus propios motores y el roce de los neumáticos con el pavimento.

1.1.5.11 Sistemas de ecuaciones.

Un sistema de ecuaciones es un conjunto de ecuaciones que cumplen simultáneamente su condición de igualdad para ciertos valores de las variables

involucradas llamadas incógnitas. Se pueden clasificar en sistemas de ecuaciones lineales y no lineales.

1.1.5.11.1 Sistemas de ecuaciones lineales.

Cuando todas las ecuaciones que intervienen cumplen con el criterio de linealidad es decir de superposición y homogeneidad.

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n = b_m$$

x Variables de la ecuación

a Coeficiente de las variables

b Constante

Este es un sistema de m ecuaciones con n incógnitas, (Nuñez & Sandoval, 2015)

Matricialmente puede ser escrito de la siguiente manera:

$$AX = B$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \dots a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \dots a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} \dots a_{mn} \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}$$

Donde:

A representa la matriz de coeficientes

X Matriz de variables

B el vector de termino independiente

Este tipo de sistemas de ecuaciones puede normalmente ser resuelto por medio de métodos analíticos.

1.1.5.11.2 Sistemas de ecuaciones no lineales.

En un sistema de ecuaciones no lineales, las ecuaciones que intervienen no cumplen con el criterio de linealidad, son funciones de cualquier tipo.

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2, x_3 \dots x_n) = 0 \\ f_2(x_1, x_2, x_3 \dots x_n) = 0 \\ \vdots \\ f_n(x_1, x_2, x_3 \dots x_n) = 0 \end{cases}$$

Puede entonces ser expresado matricialmente de la siguiente manera:

$$\vec{f}(\vec{X}) = 0 \quad (\text{Ferrante, 2011})$$

1.1.5.12 Métodos numéricos para resolución de sistemas de ecuaciones no lineales.

Los métodos numéricos son una sucesión de operaciones matemáticas utilizadas para encontrar una solución aproximada a un problema matemático.

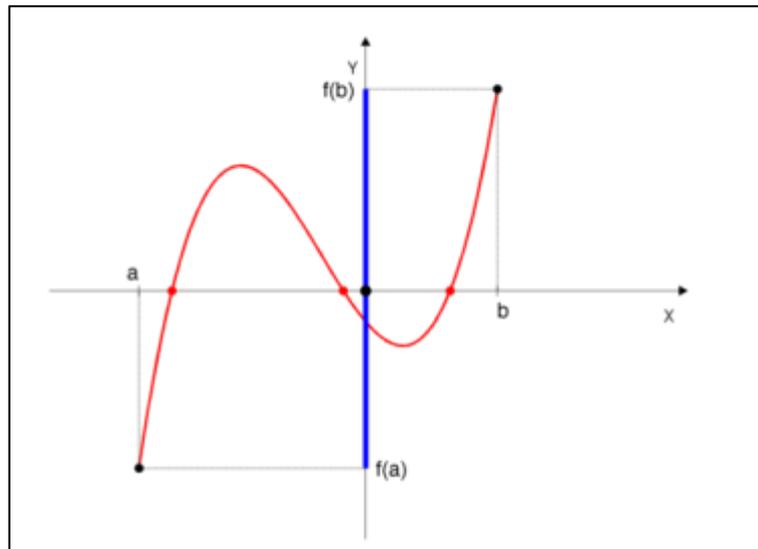
Los sistemas de ecuaciones no lineales pocas veces pueden ser resueltos de manera analítica, en la mayoría de los casos se necesita utilizar métodos numéricos para su solución (Echevarría, 2019).

A continuación, se describen algunos métodos numéricos que permiten resolver dichos sistemas.

1.1.5.12.1 Método de Bisección.

Este método se basa en el teorema de valor intermedio y de Bolzano, que dice: “Sea f una función continua en un intervalo $[a; b]$ y tal que $f(a)$ y $f(b)$ tienen signos opuestos, existe $c \in (a; b)$ tal que $f(c) = 0$.” (Echevarría, 2019, pág. 154)

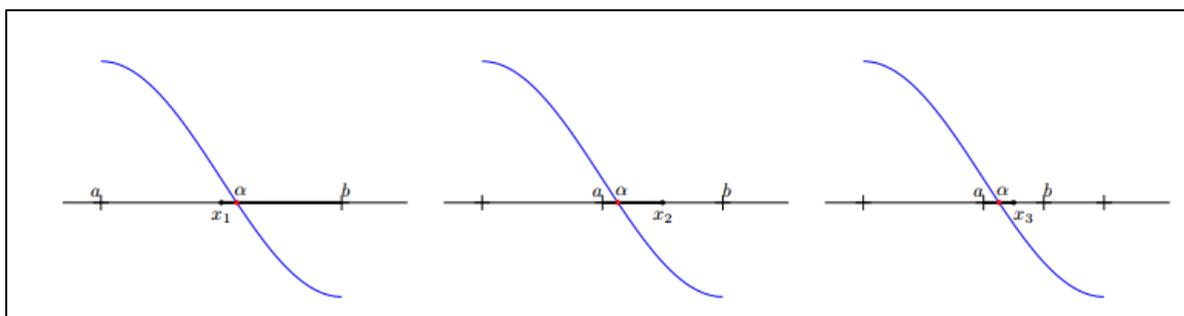
Figure 1 Teorema de Bolzano



Fuente: (Echevarría, 2019)

Este método consiste en encontrar un intervalo $[a, b]$ en el que se encuentra la solución, y donde $f(a)$ y $f(b)$ tengan signos opuestos, el siguiente paso es evaluar la función en ambos puntos para confirmar que existe un cambio de signo, a continuación se toma el punto medio del intervalo $[a, b]$ y se realiza la verificación del cambio de signo para determinar el subsegmento donde existe el cambio de signo y tomar este como el nuevo intervalo donde se encuentra la solución, el procedimiento se repite hasta tener una solución lo suficientemente aproximada.

Figure 2 Método de Bisección



Fuente: (Echevarría, 2019)

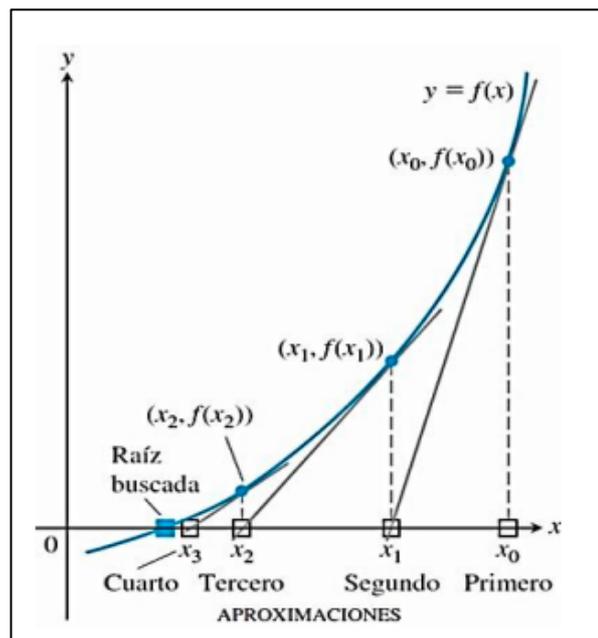
1.1.5.12.2 Método de Newton Raphson.

Para una función $f(x)=0$, la siguiente sucesión formada a partir de una solución inicial x_0 converge a la raíz de la ecuación.

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_{k+1})}$$

(Ferrante, 2011)

Figure 3 Sucesión de rectas tangente a la curva



Fuente 1Fuente especificada no válida.

Esta sucesión se puede apreciar en figura anterior.

La ecuación de la recta tangente a la curva en el punto $(x_0, f(x_0))$ es:

$$f(x) = f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0)$$

A partir de esta ecuación se puede encontrar el corte con el eje x en x_1 , en este punto $f(x)=0$

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}$$

En general:

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_k)}$$

El método consiste en realizar iteraciones sustituyendo el punto de inicio $(x_0, f(x_0))$ por el nuevo punto $(x_1, f(x_1))$, y continuar con la sucesión hasta acercarse lo suficiente al punto de solución. Este método se puede extender a sistemas de ecuaciones con varias variables, sustituyendo la variable independiente x , por el vector de variables independientes X , la función $f(x)$ por el vector de las funciones $F(x)$ y la derivada de la función por el Jacobiano del sistema.

Para la aplicación del método se requiere que las funciones sean derivables en el intervalo en cuestión y se asegura su convergencia si el punto inicial se encuentra cerca de un mínimo local en el cual la matriz Hessiana sea definida positiva. (Andujar & Gegúndez, 2004).

Matriz Jacobiana. Es la matriz formada por las derivadas parciales de las funciones respecto a cada una de las variables que intervienen.

Definición:

Sea $f: R^n \rightarrow R^m$ una función definida en torno del punto a , tal que existen las n derivadas parciales de f en a , se define matriz Jacobiana de f en a , a la matriz: (Martin, 2004)

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1}(a) & \frac{\partial f_1}{\partial x_2}(a) & \frac{\partial f_1}{\partial x_3}(a) & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n}(a) \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1}(a) & \frac{\partial f_2}{\partial x_2}(a) & \frac{\partial f_2}{\partial x_3}(a) & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n}(a) \\ \frac{\partial f_3}{\partial x_1}(a) & \frac{\partial f_3}{\partial x_2}(a) & \frac{\partial f_3}{\partial x_3}(a) & \dots & \frac{\partial f_3}{\partial x_n}(a) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial x_1}(a) & \frac{\partial f_m}{\partial x_2}(a) & \frac{\partial f_m}{\partial x_3}(a) & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial x_n}(a) \end{bmatrix}$$

Matriz Hessiana. La matriz Hessiana es la matriz compuesta por las derivadas parciales de cada una de las funciones respecto a cada una de las variables que intervienen en el sistema.

Dada la función $z = f(x, y)$ se define como Matriz Hessiana en el punto (a, b) (Martinez, 2010)

$$H(a, b) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial x} & \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 y}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 y}{\partial y \partial y} \end{bmatrix}$$

1.1.5.12.3 Método de la Secante.

Este método es conveniente cuando la derivada es muy complicada de calcular, consiste en reemplazar la recta tangente calculada con derivada por la recta secante uniendo los puntos $(x_0, f(x_0))$ y $(x_1, f(x_1))$, con lo que se obtiene:

$$f'(x_0) \approx \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}$$

$$x_2 = x_1 - f(x_1) \frac{(x_1 - x_0)}{f(x_1) - f(x_0)}$$

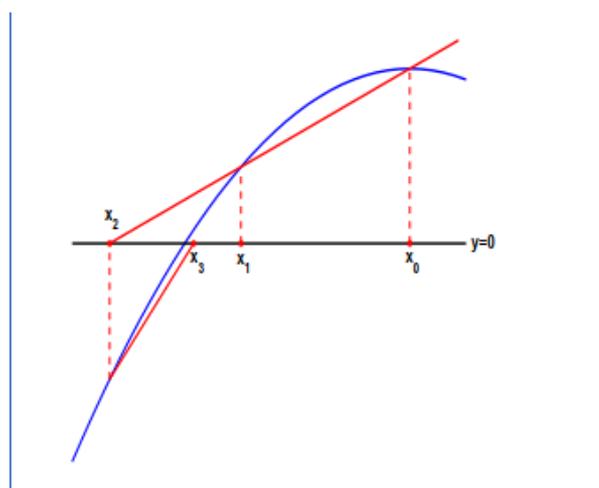
En general:

$$x_{k+1} = x_k - f(x_k) \frac{(x_k - x_{k-1})}{f(x_k) - f(x_{k-1})}$$

Para $k=1,2,3\dots$

con valores iniciales x_0 y x_1

Figure 4 Método de la Secante



Fuente 2 Fuente especificada no válida.

CAPÍTULO III

1.2 Metodología

El tipo de metodología a utilizarse en esta investigación es cuantitativa, vista que se va a validar con un modelo matemático de carácter científico, se recopila información con respuestas medibles. Y de diseño experimental ya que se van a obtener mediciones de variables que nos llevan a establecer un comportamiento o corroborar o descartar alguna hipótesis.

1.2.1 Materiales y Métodos

En la actualidad existen muchas formas de medir el ruido; y una amplia gama de aparatos de medición de ruido; en cada caso comprenderá de los datos que se deseen obtener, todas aquellas requieren de un indicador que permita cuantificar, de alguna manera, el sonido captado por un micrófono. Para evaluar el ruido a los que están expuestas las personas que viven o desempeñan actividades en el casco comercial de la ciudad de Babahoyo, se llevaron a cabo estudios de ruidos en la vía pública, se seleccionaron puntos de diferentes sectores en calles del casco comercial.

Cabe destacar que el ruido puede definirse como un sonido que molesta y perturba, por lo que la diferencia entre ruido y sonido es meramente subjetiva (lo que es agradable para unos, puede ser desagradable para otros). Las personas expuestas al ruido, por tanto, están expuestas a un factor físico contaminante. Por otra parte, dado el carácter subjetivo de la molestia, su evaluación requiere la aplicación de herramientas que permitan hacer un análisis objetivo de la misma.

La contaminación ambiental comprende más que el deterioro del aire, de los suelos o de las aguas, la contaminación también puede ser acústica y afectar igual o inclusive más que los otros tipos de contaminación, por lo que, hay que tomar medidas legales al respecto. Si bien, y concordando con lo que dispone el Art. 3 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos, el Art. 86, sección 2, de nuestra Carta Magna señala que “El estado protegerá el derecho de la población a vivir en un medio

ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable”.

En el entorno de las ciudades se denomina ruido urbano al emitido por todas las fuentes que en ella conviven, a excepción de las áreas industriales. Navarro Ruiz, J. M., & Noriega Linares, J. E. (2018). Las redes de sensores inalámbricas en las ciudades inteligentes: Aplicación a la monitorización y evaluación de la molestia del ruido de tráfico. Las redes de sensores inalámbricas en las ciudades inteligentes: aplicación a la monitorización y evaluación de la molestia del ruido de tráfico, 241-250.

La contaminación acústica es una consecuencia inevitable del estilo de vida actual y su impacto en la salud es un tema de creciente interés en la actualidad. Se define el ruido como una sensación auditiva inarticulada, generalmente desagradable. Así también se puede decir que la contaminación acústica es el exceso de sonido que altera las condiciones normales del ambiente en una determinada zona. Si bien el ruido no se acumula, traslada o mantiene en el tiempo como las otras contaminaciones, también puede causar grandes daños en la calidad de vida de las personas si no le controla bien o adecuadamente.

En ámbitos urbanos, el ruido de tráfico es la fuente de ruido ambiental más extendida. El coste de este problema es pagado por la población, ligada a una política de no intervención por parte de las autoridades, tanto, locales, regionales y nacionales. En muchas ciudades, debido a un desarrollo urbano desequilibrado en el cual las diferencias en la infraestructura de las calles, el ancho de estas, el distinto tráfico existente, cambio en la textura de las calles, etc., el problema del ruido del tráfico se ha visto acrecentado.

El ruido es un paisaje sonoro contaminado provoca, como agente estresante, diferentes reacciones conductuales que normalmente duran el tiempo del estímulo auditivo, afectando, si persisten, a la salud y a la calidad de vida de las personas. Gómez Casicote, M.D. (2004). Evaluación del ruido ambiental y su potencial impacto sobre

la comunidad de la zona comercial. Universidad Distrital de Santander, Bucaramanga, Colombia.

De acuerdo con el autor se puede mencionar que, la exposición repetida y prolongada a niveles elevados de ruido resulta, en muchos de los casos, en un empeoramiento general de la calidad de vida de las personas que lo sufren, interfiriendo en sus labores cotidianas y dando lugar a lo que comúnmente se denomina molestia acústica, la misma que es la sensación de desagrado que afecta negativamente a nuestro confort o bienestar. Los efectos del ruido en la salud de las personas no solo están ligados a ciertas situaciones profesionales, sino que también los están a otros tipos de actividades como conciertos al aire libre, las discotecas, etc.

En los últimos años se ha planteado que el efecto de la exposición al ruido puede ser expresado de manera más precisa a través de la molestia acústica, que a través de evaluación directa con parámetros básicos como el nivel de presión sonora o niveles equivalentes. Navarro Ruiz, J. M., & Noriega Linares, J. E. (2018). Las redes de sensores inalámbricas en las ciudades inteligentes: Aplicación a la monitorización y evaluación de la molestia del ruido de tráfico. Las redes de sensores inalámbricas en las ciudades inteligentes: aplicación a la monitorización y evaluación de la molestia del ruido de tráfico, 241-250.

Se puede mencionar que, para conocer y valorar el malestar de una persona o de un colectivo frente al ruido, sería necesario crear una escala que relacione las respuestas subjetivas de las personas con los valores que alcanzan las características físicas del ruido. Para la mayoría de las personas, la exposición continua a un nivel del ruido medio ambiental de 70 dB, no causará deterioro auditivo. El oído de una persona adulta puede tolerar un nivel del ruido ocasional de hasta 140 dB; pero, para los niños, tal exposición, nunca debe exceder 120 dB.

Es posible que una persona sometida a ruido puede sufrir una serie de reacciones de forma inmediata. Entre éstas, pueden estar: la dilatación de las pupilas, la contracción de los músculos, sobre todo los del cuello y espalda, taquicardias, movimiento

acelerado de los párpados que se cierran una y otra vez, agitación respiratoria y disminución de la secreción gástrica que dificulta la digestión, menor irrigación sanguínea y mayor actividad muscular.

El ruido generado por el tráfico vehicular fue objeto de estudio a partir de los años 70 por entidades internacionales como la EPA. En América Latina los estudios que destacan en valorar el ruido y establecer medidas para controlar, son los realizados en el Instituto Mexicano del Transporte, quienes elaboraron propuestas de control y normativa de regulación, mientras que en Argentina destaca el trabajo de Miraya (2000), en cuanto a modernización de ruido de tráfico rodado.

Los modelos predictivos de ruido tratan de calcular el nivel de ruido mediante ciertas variables características del lugar. Se conforman por ecuaciones matemáticas resultado de la integración del modelo de propagación con el modelo de fuente. Este último, describe la generación de ruido desde la fuente móvil, haciendo referencia al vehículo y a la carretera. Además, existen ruidos de tráfico independiente del vehículo, sobre todo en las zonas residenciales, que derivan, principalmente, del uso de altavoces o cláxones que son utilizados por el conductor para ofrecer un producto a la venta, mientras se desplaza por las calles.

1.2.1.1 Instrumento de medición

El sonómetro es una herramienta primordial y básica a la hora de estudiar los ruidos, estos instrumentos abarcan una gran variedad de modelos, desde los más simples a los más complejos. Están compuestos, por lo general, de:

- 6) Un micrófono, transforma la señal acústica en señal eléctrica proporcional.
- 7) Un amplificador, permite amplificar la señal del micrófono para permitir la medida de los niveles más bajos de presión sonora.
- 8) Filtros de ponderación, permite adecuar la respuesta del aparato a la del oído.
- 9) Ponderación de frecuencia, de tipo A, B, C, cuyas lecturas se indican dB A, dB B, o dB C respectivamente.

10) Ponderaciones de tiempo, de tipo S (show), F (fase), I (impulsive) y P (peca).

Los sonómetros deben cumplir con la norma técnica ecuatoriana NTE INEM 2665 (2013-10), para la medición acústica, el medidor de nivel de sonido debe cumplir, mínimo, con los requisitos establecidos para instrumentos tipo 1, de acuerdo con la norma IEC 651. (INEN, 2014-01)

Clases de sonómetros:

- Clase 0: Se utiliza en laboratorios para obtener niveles de referencia.
- Clase 1: Permite el trabajo de campo con precisión.
- Clase 2: Permite realizar mediciones generales en los trabajos de campo.

El sonómetro en mención se lo podrá observar en la Figura 3

Para cada clase de sonómetro existe una tolerancia permitida según la norma IEC 60651 como veremos en el cuadro de la tabla 4.

Para la medición se utilizó dos sonómetros de iguales características, calibrados a 114 dB. En la Tabla 2 se describen las especificaciones del sonómetro.

1.2.1.2 Contexto territorial

El trabajo de investigación se lo realizará en el casco comercial de la ciudad de Babahoyo, se encuentra delimitado por las calles:

Al norte, Avenida 5 de junio

Al sur, calle García Moreno

Al este, calle Pedro Carbo

Al oeste calle Bolívar

Se ha considerado estas calles, ya que son zonas con mayor actividad comercial. En este marco, el presente estudio es de naturaleza empírica, ya que se trabaja con hechos de experiencia directa, no manipulados; el enfoque es cuantitativo; porque, el

fenómeno es medible. La unidad de medición del sonido y por ende de ruido, es el decibelio (dB).

Los datos fueron levantados en el periodo comprendido entre agosto y septiembre del 2022, con la finalidad de conocer el estado de las emisiones de ruido en el lugar de estudio, información que será de utilidad para determinar la afectación de ruido en las personas expuestas.

La investigación, partió con el levantamiento de datos con el sonómetro. Se vio conveniente agrupar a las dos esquinas a investigar, en nodos (N), esto es con el fin de facilitar el análisis de los valores obtenidos. Croquis de las calles mencionadas, señalando la zona a investigar. (Figura 2). Se consideró que cada manzana tiene tres puntos de medición, codificados bajo el siguiente formato (PM), referido a punto de medición, que corresponde a tres esquinas de la manzana.

La medición se realizó en seis horarios, que corresponden a las horas pico de flujo de tránsito en el sector: 07:00, 13:00 y 18:00. El periodo de monitoreo, por punto, fue de 15 minutos en cada horario, con lo cual se da cumplimiento en el anexo V del TULSMA (Ministerio del Ambiente Ecuador 2015), en el que se recomienda un periodo de monitoreo de 10 minutos como mínimo.

El levantamiento de la información se la realizó con un sonómetro cuyas características se encuentran en la tabla 6.

1.2.1.3 Tipo y diseño de investigación (descriptivo – correlacional)

En este caso en particular se tomará en cuenta metodología planteada por la actual legislación ambiental ecuatoriana, determinada en el (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015).

Para la evaluación ambiental de ruido:

- Identificar los lugares de la fuente fija de ruido (FFR) donde se emiten los niveles máximos de ruido (LMR).
- Determinar los momentos en los cuales se debe realizar la medición, donde se emite los niveles de presión sonora (NPS) más altos, para cada punto de evaluación en condiciones normales.
- Tomar en cuenta consideraciones y la ubicación topográfica del punto crítico de afectación (PCA).

Levantar la siguiente información:

- Niveles de presión sonora (NPS) mínimos y máximos.
- Fuentes emisoras de ruido.
- Uso de suelo donde se encuentra la fuente fija de ruido.
- Puntos críticos de afectación (PCA).
- Descripción de los procesos y de simultaneidad con otros procesos.
- Equipos o maquinarias involucradas.

1.2.1.4 Población objetiva y extensión

La población objetivo, fue tomada según la delimitación del gráfico 1; el área de trabajo objeto de estudio se encuentra ubicada entre cuatro calles, las mismas que son 5 de junio, García Moreno, Bolívar, y Calderón.

1.2.1.5 Método de muestreo

Para la elaboración de esta tesis la técnica utilizada es la de muestreo aleatorio simple, que es un método probabilístico, este método tiene la probabilidad de que cada unidad muestral (n) de toda una población finita (N), tenga la misma probabilidad de ser seleccionada para conformar la muestra.

1.2.1.6 Técnicas de recolección de datos.

Metodología de las mediciones de los niveles de presión sonora (NPS).

El área de estudio se la dividió en una malla de 200 x 200 m., la cual nos dio 17 subzonas, de las cuales se escogió la parte más representativa de cada subzona, como punto de muestreo, para una mejor aproximación y descartar dispersión de ruido de influencia de otras cuadras.

El periodo de medición de ruido fluctuante, según el TULSMA, fue de 10 minutos en cada punto preestablecido y se tomaron 3 réplicas o repeticiones en el mismo periodo, teniendo media hora (30 minutos) en total en cada punto de muestreo; siempre se realizó dos muestras simultáneas en diferentes puntos. El TULSMA nos dice que, para realizar las mediciones de los niveles de ruido producidos por una fuente fija, el micrófono estará ubicado a una altura entre 1 y 1,5 metros del suelo y a una distancia de por lo menos 3 metros de las paredes de edificios o estructuras.

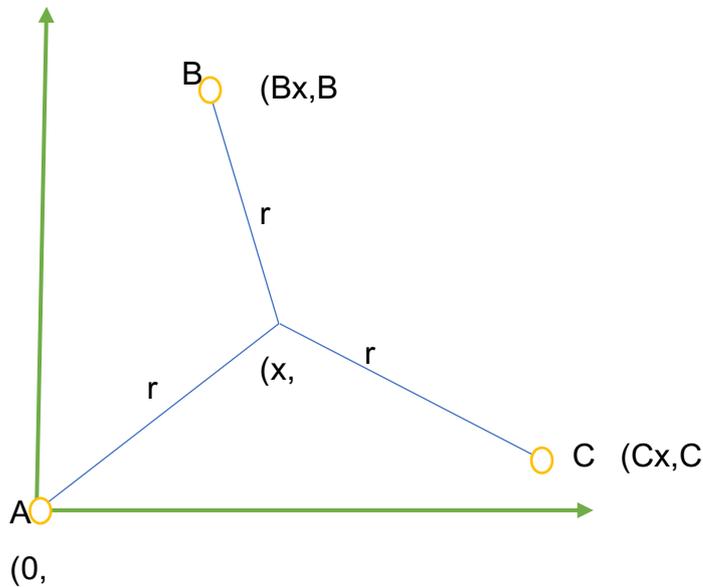
1.2.1.7 Procesamiento de la información.

Para mostrar los datos, se elaboran mapas de ruido, que son la representación visual del comportamiento del ruido en un espacio geográfico y en un tiempo determinado. (Suarez, 2019). Los datos de ruido levantados, fueron representados por medio de una triangulación, donde se aplican procedimientos basados en el teorema de Pitágoras.

1.2.1.8 Modelo Matemático

Existen muchos tipos de modelos, aunque normalmente cuando se trata de estudiar procesos naturales, se utilizan Modelos Matemáticos. Un Modelo Matemático, es la expresión formal (en lenguaje matemático) de las relaciones entre los componentes de un modelo. La construcción de un modelo de este tipo implica la selección y cuantificación de los componentes, variables y relaciones presentes en el sistema, para representarlo con el nivel de detalle requerido.

Es por eso por lo que nace la necesidad de desarrollar la presente investigación, la cual conlleva a encaminar la solución de un problema que pasa desapercibido por muchos, siendo aquello que aqueja, sobre todo, a la población vulnerable, además que se presenta a diario.



A, B, C mediciones en decibeles en los puntos A, B, C

$$I_o = 10^{-12} \text{ (mínima Intensidad audible)}$$

$$I_a = \text{(Intensidad sonora en el punto A)}$$

$$I = \text{(Intensidad sonora en el punto de origen)}$$

$$A = 10 \log \left(\frac{I_a}{I_o} \right)$$

$$\frac{A}{10} = \log \left(\frac{I_a}{I_o} \right)$$

$$\frac{I_a}{I_o} = 10^{\left(\frac{A}{10}\right)}$$

$$I = I_o * 10^{\left(\frac{A}{10}\right)} \quad I_b = I_o * 10^{\left(\frac{B}{10}\right)} \quad I_c = I_o * 10^{\left(\frac{C}{10}\right)}$$

$$r_a^2 = x^2 + y^2 \quad r_b^2 = (x - B_x)^2 + (y - B_y)^2 \quad r_c^2 = (x - C_x)^2 + (y - C_y)^2$$

$$I_a = \frac{I}{r_a^2} \quad I = I_a r_a^2$$

$$I_b = \frac{I}{r_b^2} \quad I = I_b r_b^2$$

$$I_c = \frac{I}{r_c^2} \quad I = I_c * r_c^2$$

Igualando I_a con I_b , queda de la siguiente manera:

$$I_a r_a^2 = I_b r_b^2 \quad \frac{I_a}{I_b} r_a^2 - r_b^2 = 0$$

$$\frac{I_a}{I_b} (x^2 + y^2) - ((x - B_x)^2 + (y - B_y)^2) = 0$$

$$\frac{I_a}{I_b} x^2 + \frac{I_a}{I_b} y^2 - (x^2 - 2B_x x + B_x^2) - (y^2 - 2B_y y + B_y^2) = 0$$

$$\frac{I_a}{I_b} x^2 + \frac{I_a}{I_b} y^2 - x^2 + 2B_x x - B_x^2 - y^2 + 2B_y y - B_y^2 = 0$$

$$\left(\frac{I_a}{I_b} - 1\right) x^2 + \left(\frac{I_a}{I_b} - 1\right) y^2 + 2B_x x + 2B_y y - (B_x^2 + B_y^2) = 0$$

Cambio de variable:

$$S_1 = \frac{I_a}{I_b} - 1$$

$$K_1 = B_x^2 + B_y^2$$

Reemplazando los valores, tenemos la siguiente ecuación:

$$S_1x^2 + S_1y^2 + 2B_x x + 2B_y y - K_1 = 0$$

Igualando I_b con I_c , queda de la siguiente manera:

$$I_b r_b^2 = I_c r_c^2 \quad \frac{I_b}{I_c} r_b^2 - r_c^2 = 0$$

$$I_b \left((x - B_x)^2 + (y - B_y)^2 \right) = I_c \left((x - C_x)^2 + (y - C_y)^2 \right)$$

$$\frac{I_b}{I_c} (x^2 - 2B_x x + B_x^2) + (y^2 - 2B_y y + B_y^2) = (x^2 - 2C_x x + C_x^2) + (y^2 - 2C_y y + C_y^2)$$

$$\frac{I_b}{I_c} (x^2 - 2B_x x + B_x^2 + y^2 - 2B_y y + B_y^2) = (x^2 - 2C_x x + C_x^2 + y^2 - 2C_y y + C_y^2)$$

$$\begin{aligned} \frac{I_b}{I_c} x^2 - 2 \frac{I_b}{I_c} B_x x + \frac{I_b}{I_c} B_x^2 + \frac{I_b}{I_c} y^2 - 2 \frac{I_b}{I_c} B_y y + \frac{I_b}{I_c} B_y^2 \\ = x^2 - 2C_x x + C_x^2 + y^2 - 2C_y y + C_y^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{I_b}{I_c} x^2 - 2 \frac{I_b}{I_c} B_x x + \frac{I_b}{I_c} B_x^2 + \frac{I_b}{I_c} y^2 - 2 \frac{I_b}{I_c} B_y y + \frac{I_b}{I_c} B_y^2 - x^2 + 2C_x x - C_x^2 - y^2 + 2C_y y \\ - C_y^2 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{I_b}{I_c} - 1 \right) x^2 + \left(\frac{I_b}{I_c} - 1 \right) y^2 + 2x \left(C_x - \frac{I_b}{I_c} B_x \right) + 2y \left(C_y - \frac{I_b}{I_c} B_y \right) + \frac{I_b}{I_c} (B_x^2 + B_y^2) - C_x^2 \\ - C_y^2 = 0 \end{aligned}$$

Cambio de variables:

$$S_2 = \left(\frac{I_b}{I_c} - 1 \right)$$

$$K_2 = \frac{I_b}{I_c}(B_x^2 + B_y^2) - C_x^2 - C_y^2$$

$$S_3 = C_x - \frac{I_b}{I_c}B_x$$

$$S_4 = C_y - \frac{I_b}{I_c}B_y$$

Reemplazando los valores, tenemos la siguiente ecuación:

$$S_2x^2 + S_2y^2 + 2S_3x + 2S_4y - K_1 = 0$$

Modelo matemático para determinar el punto de origen el sonido:

$$\begin{cases} S_1x^2 + 2A_x x + 2A_y y - K_1 = 0 \\ S_1x^2 + S_2y^2 + 2S_3x + 2S_4y - K_2 = 0 \end{cases}$$

Se determinó que este sistema de ecuaciones se lo va a resolver por el método de Newton Raphson. Este es un método abierto, en el sentido de que no está garantizada su convergencia global. La única manera de alcanzar la convergencia es seleccionar un valor inicial lo suficientemente cercano a la raíz buscada. Así se ha de comenzar la iteración con un valor, razonablemente, cercano al cero (denominado punto de arranque o valor supuesto)

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

Aplicando el Método de Newton-Raphson

$$\begin{cases} S_1x^2 + S_1y^2 + 2B_x X + 2B_y Y - k_1 = 0 \\ S_2x^2 + S_2y^2 + 2S_3X + 2S_4Y + k_2 = 0 \end{cases}$$

$$f_1(x, y) = 0$$

$$f_2(x, y) = 0$$

$$\begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} = 0$$

$$\text{Jacobiano } j = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} \end{pmatrix}$$

$$X_{k+1} = X_k - J^{-1}F(X_k)$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial x} = 2S_1x + 2B_x \quad \frac{\partial f_1}{\partial y} = 2S_1y + 2B_y$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial x} = 2S_2x + 2S_3 \quad \frac{\partial f_2}{\partial y} = 2S_2y + 2S_4$$

$$J = 2 \begin{pmatrix} S_1x + B_x & S_1y + B_y \\ S_2x + S_3 & S_2y + S_4 \end{pmatrix}$$

Para una condición inicial $x = 0; y = 0$

$$J|_{0,0} = 2 \begin{pmatrix} B_x & B_y \\ S_3 & S_4 \end{pmatrix}$$

Primera iteración

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 2B_x & 2B_y \\ 2S_3 & 2S_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -k_1 \\ k_2 \end{bmatrix}$$

Para realizar el cálculo de las iteraciones, se desarrolló el siguiente código en Matlab basado en el método de Newton Raphson:

```

clear all
clc
syms x y ;
Bx=50
By=86.6
Cx=100
Cy=0
Io=10^(-12)
X0=[0;0]
X=X0
Xsol=X0
CF=[0;0]
Is=[0]
I=[0]
Er=[0] %Error
Iter=[0] %Iteraciones
%=====
ruido=readtable('ruido.xlsx');%Lectura de la tabla en excel
ruido= table2array(ruido);%convertir la tabla en matriz
t=ruido(:,1);% t=primera columna(horas)
R=[ruido(:,2) ruido(:,3) ruido(:,4)];%Columnas 2,3,4,Sonometros
Datos=R' %transpuesta
n=length(Datos)
for i=1:n
syms x y
A=Datos(1,i);
B=Datos(2,i);
C=Datos(3,i);

Ia=10^(A/10)*Io;
Ib=10^(B/10)*Io;
Ic=10^(C/10)*Io;

S1=(Ia/Ib-1);
S2=(Ib/Ic-1);
S3=Cx-(Ib/Ic)*Bx
S4=Cy-(Ib/Ic)*By
K1=Bx^2+By^2;
K2=(Ib/Ic)*(Bx^2+By^2)-Cx^2-Cy^2;
Parar=1
F1=@(x,y)[S1*x^2+S1*y^2+2*Bx*x+2*By*y-K1];
F2=@(x,y)[S2*x^2+S2*y^2+2*S3*x+2*S4*y+K2];

d1x=diff(F1,x);
d1y=diff(F1,y);
d2x=diff(F2,x);
d2y=diff(F2,y);
Tolerancia=0.1
N_error=1
j=1
while N_error>Tolerancia
j=j+1
x=X(1)
y=X(2)

J=[d1x d1y;d2x d2y]
J=subs(J)
Jac=double(J)
Jaci=inv(Jac)

```

```

Fun1=S1*X(1)^2+S1*X(2)^2+2*Bx*X(1)+2*By*X(2)-K1
Fun2=S2*X(1)^2+S2*X(2)^2+2*S3*X(1)+2*S4*X(2)+K2

Fun1d=double(Fun1)
Fun2d=double(Fun2)

F=[Fun1d;Fun2d]

X=X-Jaci*F    %Newton
Xs=X;
Xsol=[Xsol,Xs];
Error=Xsol(:,j)-Xsol(:,j-1);
N_error=sqrt(((Error(1))^2+(Error(2))^2));
end
CF=[CF,Xs]
display(Xsol)
I=Ia*(Xs(1)^2+Xs(2)^2)
Li=10*log10(I/Io)
Is=[Is,Li];
Er=[Er,N_error]%Vector de error
Iter=[Iter,j]
end
clc
fprintf(2,'numero de iteraciones.\n');disp(i)
fprintf(2,'=====SOLUCION x,y
=====.\n')
Is

```

Fuente: Autor 2022

A continuación, se presenta el código de Matlab desarrollado para graficar las intensidades de ruido medias de manera experimental con los sonómetros y la gráfica con los valores calculados a partir de los 3 sonómetros.

```

%=====
%=====Gráficas=====

%Gráficas de lectura de sonómetros
figure(1)
col=[1:1:n]
H=6 +2*col
plot(t,Datos(1,col))
title('Ruido a diferentes horas')
xlabel('Horas')
ylabel('Intensidad Decibelios dB')
ylim([0 150])
hold on
plot(t,Datos(2,col))
plot(t,Datos(3,col))

%Gráficas de Intensidad de sonido calculada a partir de los 3 sonómetros
Is(1)=[]    %Eliminar el elemento 0
plot(t,Is)
legend('Sonómetro 1','Sonómetro 2','Sonómetro 3','Int
calculada','Location','southwest')
%Gráficas de circulos de sonido a partir de la fuente

```

```

figure(2)

for k=2:n

    centers = [CF(1,k) CF(2,k)];
    plot(0,0,'r*');hold on
    plot(Bx,By,'r*')
    plot(Cx,Cy,'r*')
    plot(CF(1,k),CF(2,k),'b*');
    xlim([0 120])
    ylim([0 120])
    title('Mapa de ruido')
    xlabel('Distancia x')
    ylabel('Distancia y')

end

```

CAPÍTULO IV

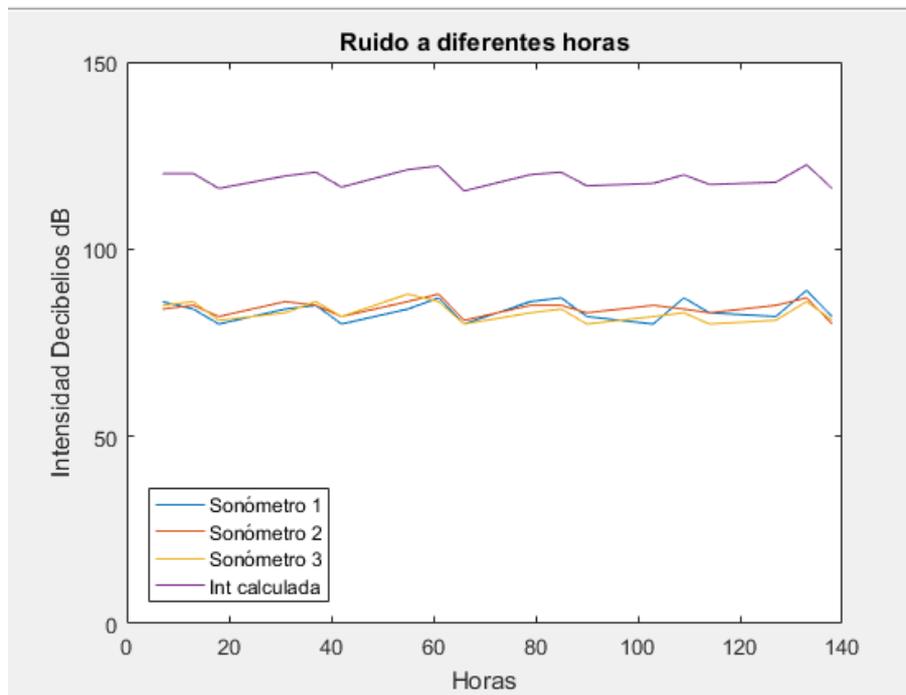
Análisis y Resultados

Las hipótesis correspondientes a esta investigación son:

- El ruido ambiental que se genera en las calles céntricas (antes mencionadas) de la ciudad de Babahoyo, afecta en la salud de las personas que habitan y laboran en antes mencionado sector.
- El ruido ambiental que se genera en las calles céntricas (antes mencionadas) de la ciudad de Babahoyo, afecta solamente al sentido del oído de las personas que habitan y laboran en el antes mencionado sector.
- Es posible determinar qué tipo posibles afecciones afectan a las personas que habitan y laboran en las calles céntricas (antes mencionadas) de la ciudad de Babahoyo.

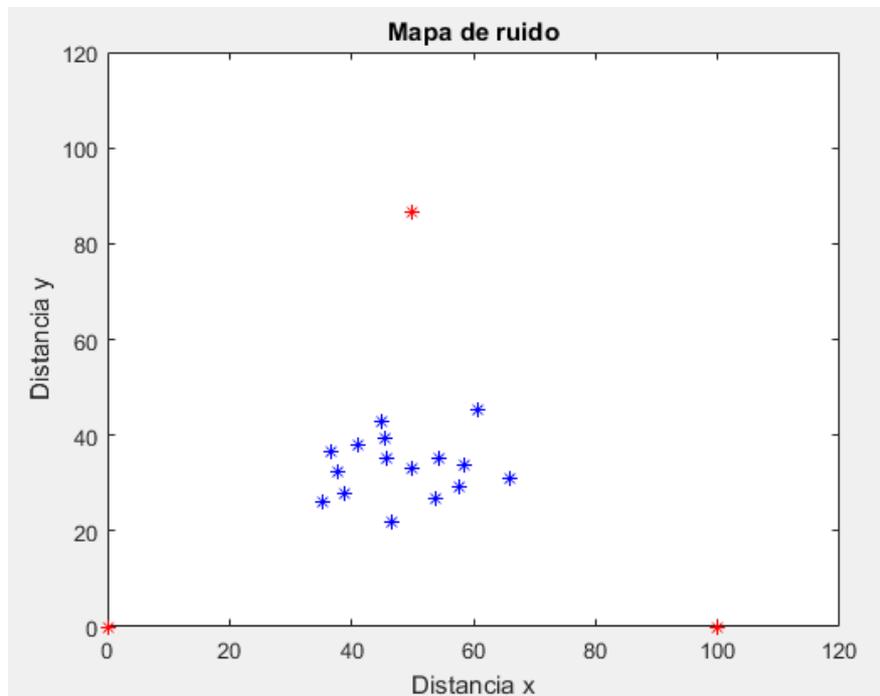
Para el análisis del presente estudio se utilizó programas desarrollados en Matlab, Mediante los cuales se obtuvo los valores reales de la intensidad de ruido en la Zona de estudio así como también los puntos de concentración de la fuente del mismo a diferentes horas.

Figure 5 Gráfica de intensidad de



Fuente: Autor 2022

Figure 6 Fuente de ruido a diferentes horas



Fuente Autor 2022

VARIABLES DE ESTUDIO. Se encuentran en la tabla 3.

Según los datos obtenidos en las mediciones de ruido y con el posterior análisis de los resultados obtenidos luego de haber graficado la solución a la ecuación diferencial propuesta, se llegó a los siguientes resultados:

Tabla 6. Medición de ruido por uso de suelo, de acuerdo a las dinámicas de la zona (TULSMA 2016)

CONCLUSIONES

La metodología planteada permitió contar con un conjunto de datos de ruido, distribuidos en la ciudad, tomando como referente para su ubicación, la densidad del tránsito vehicular, con lo cual se garantizó que los puntos desde donde se obtuvo la información sean los más desfavorables. Así mismo, tomar como periodo de levantamiento de emisiones sonoras, los 15 minutos, permitió cumplir, en lo referente al método de muestreo, con la legislación ambiental vigente (TULSMA, 2015), y a su vez contar con un periodo de ruido confiable, que permita establecer un diagnóstico.

Otro de los elementos importantes dentro de la metodología utilizada, es contar con tres horarios de muestreo, que permite tener una visión complementaria del comportamiento sonoro con y sin afluencia vehicular abundante. En lo que tiene que ver con el uso de los dispositivos para el levantamiento de información, es necesario resaltar el uso del sonómetro. Al ser un instrumento que está, debidamente, calibrado, sirve de referencia para otras mediciones.

En cuanto al comportamiento sonoro en el área de estudio, se observa que las emisiones captadas por el sonómetro en los seis puntos en los horarios establecidos están sobre la norma ambiental vigente (TULSMA, 2015), lo que quiere decir que las personas que están expuestas por un tiempo prolongado están expuestas a padecer de enfermedades (de acuerdo a la tabla antes mencionada).

RECOMENDACIONES.

Es importante establecer normas municipales, de tal manera que las personas que están expuestas por tiempo prolongado al ruido en ese sector, se les pueda garantizar un ambiente donde estén lejos de contraer algún tipo de malestar, sea fisiológico o psicológico. Por lo tanto, se recomienda:

- i) Implementar planes de acción con objetivos de corto, mediano y largo plazo para reducir los niveles de ruido.
- ii) Incluir al ruido como un tema de salud pública importante en la evaluación del impacto ambiental.
- iii) Los municipios deberían elaborar planes, aplicando la legislación existente, con la finalidad de reducir los niveles de ruido.
- iv) Que el gobierno central o seccional y la empresa privada apoyen proyectos de investigación sobre el tema del ruido, en todos y cada uno de los sectores de la patria.
- v) Dictar talleres a la ciudadanía, utilizando los medios de comunicación, con la finalidad de concientizar a la ciudadanía de los peligros en la salud, tanto psicológicos como fisiológicos, que se enfrentan las personas cuando están expuestas al ruido.
- vi) Solicitar apoyo técnico, tecnológico y profesional, a los países que han podido, mediante normas establecidas, superar este tipo de contaminación silenciosa, que tanto daño hace a la salud de las personas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez I, Méndez J, Delgado L, Acebo F, Armas J, Rivero. Contaminación Ambiental por ruido. Volumen 39 N° 3 mayo-junio 2017 págs. 640- 649

Amable Álvarez, I., Méndez Martínez, J., Delgado Pérez, L., Acebo Figueroa, F., de Armas Mestre, J., & Rivero Llop, M. L. (2017).

Armas Mestre, J., & Rivero Llop, M. L. (2017). Contaminación ambiental por ruido. *Revista Médica Electrónica*, 39(3), 640-649.

Armijos, M. D., Quiroz, J. P., Mantuan, C. L., & Montalván, A. M. (2019). Contaminación acústica y su relación con las alteraciones auditivas en el personal de COPROBALAN EMA. *Sinapsis: La revista científica del ITSUP*, 2(15), 13.

(Berglunt, 1999). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC)

CONADIS. <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>

Conferencia de las Naciones Unidas. (1972). Medio Ambiente. Conferencia de las Naciones Unidas. Estocolmo.

Constitución de la República del Ecuador. (2008). Quito. Registro Oficial No. 449. Contaminación ambiental por ruido. *Revista Médica Electrónica*, 39(3), 640-649.

Estudio de Prevalencia de Desórdenes de Oído y Audición OMS-Ecuador 2009. <http://www.aeo.org.ec/Revistas/VOL7%20NO1/Art%EDculo4.pdf>.

Definición de ambiente. Disponible en la URL. <http://definicion.de/ambiente/>.

Foraster, M. (2017). El ruido enferma y es un problema de salud pública EL PAIS, pág. 1.

Gómez Casicote, M.D. (2004). Evaluación del ruido ambiental y su potencial impacto sobre la comunidad de la zona comercial. Universidad Distrital de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Gordillo, G., & Santiago, J. (s. f.). *Determinación de niveles de presión sonora (NPS), generados por las aeronaves, en el sector sur del aeropuerto Mariscal Lamar de la ciudad de Cuenca*. 169.

Harris, Cyril M. Manual de medidas acústicas y control de ruido. Tercera Edición, Editorial McGraw-Hill, Madrid España, 1995, Volumen 2. Capítulo I. P. 1.10

Ibarra Toapanta, A. G. (2017). La contaminación acústica en los alrededores del Hospital Gineco-Obstétrico Isidro Ayora y su incidencia en los derechos del Buen Vivir en el Distrito Metropolitano de Quito, año 2016 [B.S. thesis]. Quito: UCE.

Kogan, Pablo, Análisis de la eficiencia de la ponderación "A" para evaluar efectos del ruido en el ser humano, Valdivia-Chile. Universidad Austral de Chile, pg. 70. Año 2004.

Lesión del oído. <https://kidshealth.org/es/parents/ear-injuries-esp.html>

Machado, J. A. L. (2018).

¿Qué es la contaminación acústica o contaminación por ruido? *Revista Vinculando*.

Mamani, J. (2017). *Evaluación de los niveles de ruido producido por el tráfico vehicular en la ciudad de Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

MANUEL, J. (2022). *Instalaciones de megafonía y sonorización 2.ª edición 2022*. Ediciones Paraninfo, S.A.

Młyński R, Kozłowski E. Assessment of the audibility area of auditory danger signals produced by industrial truck. *Med Pr.* 2015; 66(2):173-84. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26294310>

Navarro Ruiz, J. M., & Noriega Linares, J. E. (2018). Las redes de sensores inalámbricas en las ciudades inteligentes: Aplicación a la monitorización y evaluación de la molestia del ruido de tráfico. *Las redes de sensores inalámbricas en las ciudades inteligentes: aplicación a la monitorización y evaluación de la molestia del ruido de tráfico*, 241-250.

OBELA (Observatorio Económico Latinoamericano). 2018. "Medio ambiente y economía", <http://www.obela.org/contenido/medio-ambiente-economia>.

OMS. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>.

Rodríguez Fernández Y, Alfonso Muñoz E. Aspectos epidemiológicos del trauma acústico en personal expuesto a ruido intenso.

Rojas Velarde, Susan; Sánchez Cornejo, Cinthya y Meza Victoria Hugo. Hipoacusia inducida por ruido en trabajadores de construcción civil de la Constructora Inarco del centro comercial Real Plaza Huancayo, Disponible en <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3959>.

Samaniego Armijos Álvaro y Tamayo Clavijo Rómulo. Prevalencia de hipoacusia en trabajadores de campo y administrativos de la empresa noroccidental del Ecuador atendidos en el área de medicina laboral durante el periodo de enero a junio 2016, [Tesis pregrado, internet] [Quito] Repositorio Universidad Central del Ecuador págs.42-45. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/11886>

Sanny, J., & Moebs, W. (2021). *Física universitaria*. Huston.

Sears, Zemansky, Young, H., & Freedman, R. (2018). *Física universitaria, con física moderna volumen 2*. Ciudad de México: Pearson Educación.

Toribio, L. A., Aranguren, D. C., Ruiz, D. M., & Maqueda, M. J. R. (2011).
Ruido ambiental: Seguridad y salud. *Tecnología y desarrollo*, 9, 31.

Universidad de Cantabria. Capítulo 8. <http://www.hear-it.org/es/El-segundo-pais-mas-ruidoso-del-mundo>

Vechiatti, N. S., Iasi, F. M., Armas, A. A., & Tomeo, D. A. (2020). Evaluación de impacto acústico en la salud de personas expuestas a ruido industrial.

<https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad>.

<http://www.hear-it.org/es/El-segundo-pais-mas-ruidoso-del-mundo>

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd65/ruidosefectos.pdf>

<https://www.ceupe.com/blog/el-ruido-caracteristicas-de-la-contaminacion-acustica.html>

2 ANEXOS

3 Índice de tablas

3.1.1 Tabla 1: Ruidos ambientales diversos, medidos en decibeles.

Despegue de un avión	140 dB
Construcción edificios, martillos neumáticos.	125 dB
Concierto de rock	120 dB
Discoteca	100 dB
Aspiradora, batidora.	90 dB
Tráfico, lugares de ocio.	80 dB
Conversación.	60 dB
Biblioteca, oficina tranquila.	40 dB

<https://www.ceupe.com/blog/el-ruido-caracteristicas-de-la-contaminacion-acustica.html>

3.1.2 Tabla 2: Especificaciones técnicas del sonómetro utilizado.

ESPECIFICACIONES	SONÓMETRO
Marca	Amprobe
Modelo	SM-20 A
Clase	Tipo 2
Precisión	$\pm 1.5 \text{ dB}$
Rango de frecuencia	31.5 Hz – 8Hz
Filtros de ponderación	A/C
Respuesta	Fast/Slow
Rango de medidas	A: 30-130 dB
	C: 35-130 dB
Rango dinámico	50 dB
Micrófono	Condensador eléctrico de $\frac{1}{2}$ pulg.

Fuente: Manual del fabricante.

3.1.3 Tabla 3: Variables de estudio

VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES
Afectación en el sistema auditivo	Ruido ambiental (dB A)	Niveles de ruido Normativa Ecuatoriana

Fuente: Autor

3.1.4 Tabla 4: Tolerancia permitida de acuerdo la clase de sonómetro, según norma IEC 60651.

Clase	Tolerancias (dB)
0	± 0.4
1	± 0.7
2	± 1.0

Fuente: IEC 60651

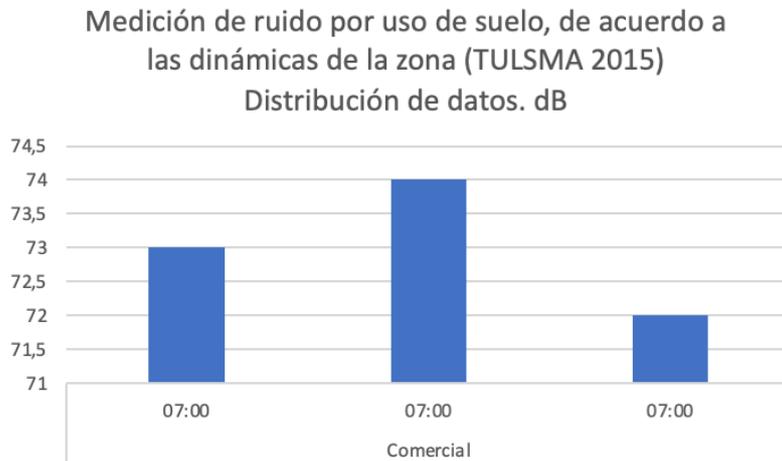
3.1.5 Tabla 5: Efectos del ruido sobre la salud.

ENTORNO	NIVEL DE SONIDO dB(A)	TIEMPO (h)	EFFECTOS SOBRE LA SALUD
Exterior de vivienda	50-55	16	Molestia
Interior de vivienda	35	16	Interferencia con la comunicación
Dormitorios	30	8	Interrupción del sueño
Aulas escolares	35	Duración de la clase	Perturbación de la comunicación
Áreas industriales, comerciales y de tráfico	70	24	Deterioro auditivo
Música en auriculares	85	1	Deterioro auditivo
Actividades de ocio	100	4	Deterioro auditivo

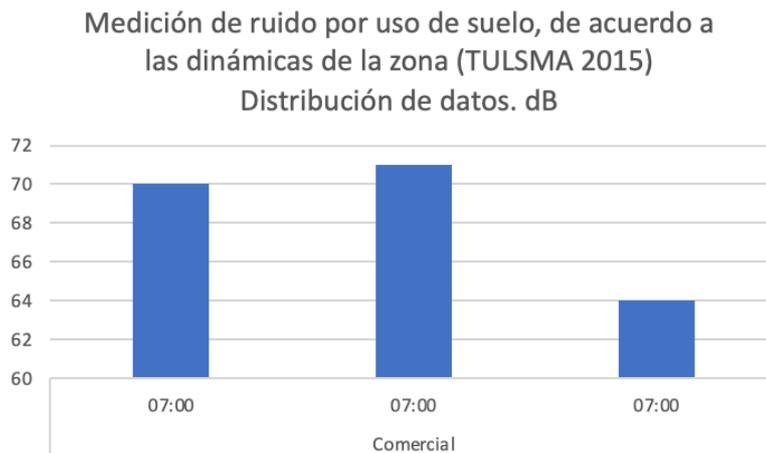
Fuente: Organización Mundial de la Salud

3.1.6 Tabla 6. Medición de ruido por uso de suelo, de acuerdo a las dinámicas de la zona (TULSMA 2015)

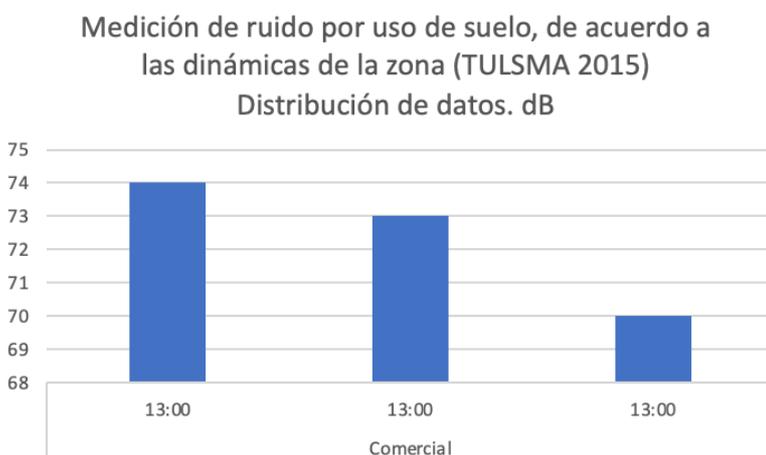
Nodos: 1, 2, 3 Día 1 (07:00)



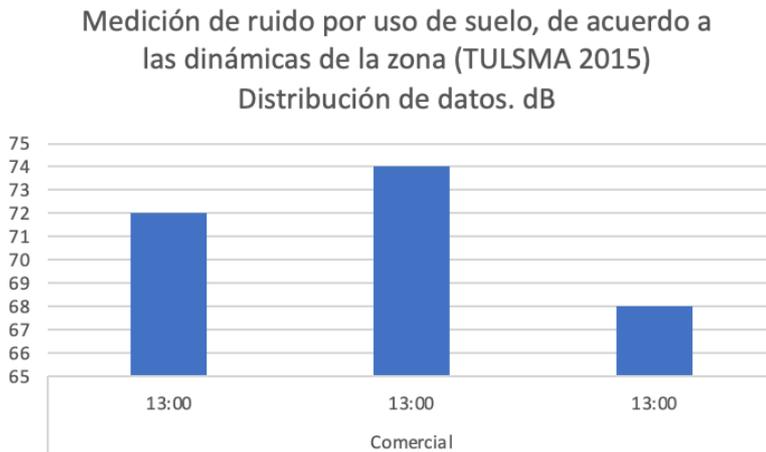
Nodos: 4, 5, 6



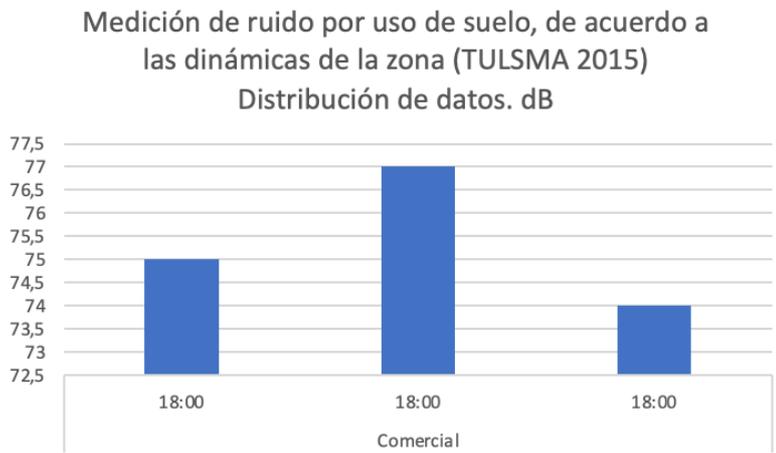
Nodos: 1, 2, 3 Día 1 (13:00)



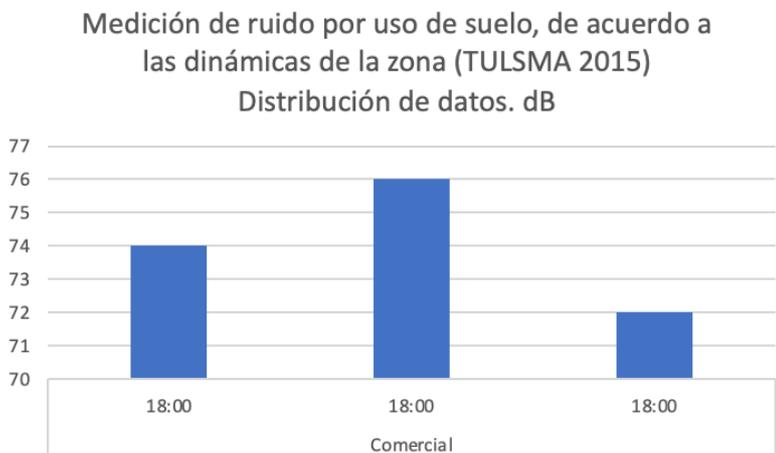
Nodos: 4, 5, 6



Nodos: 1, 2, 3 Día 1 (18:00)

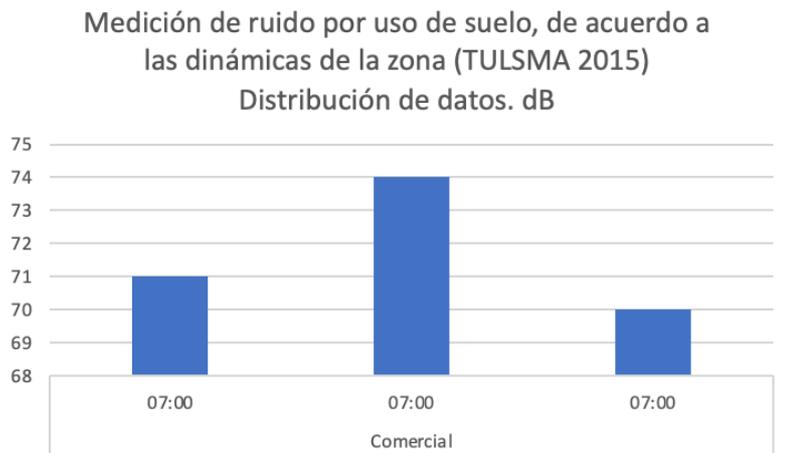


Nodos: 4, 5, 6

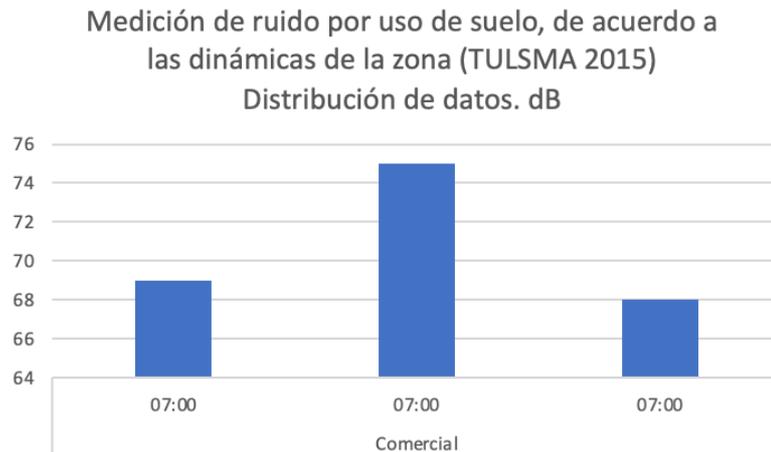


Nodos: 1, 2, 3

Día 2 (07:00)

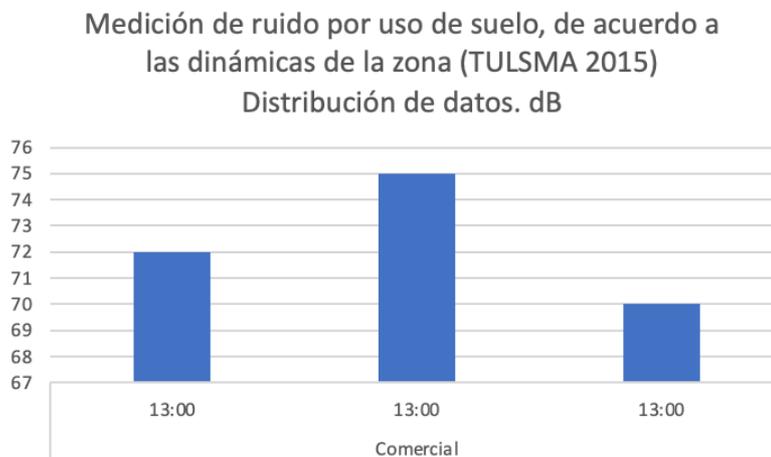


Nodos: 4, 5, 6

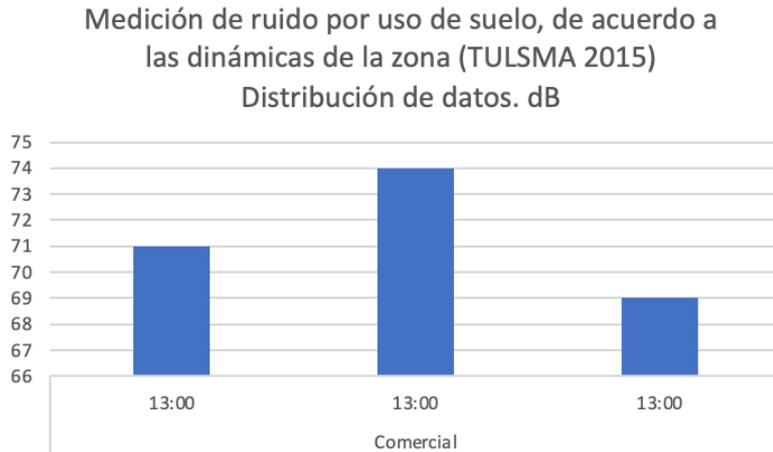


Nodos: 1, 2, 3

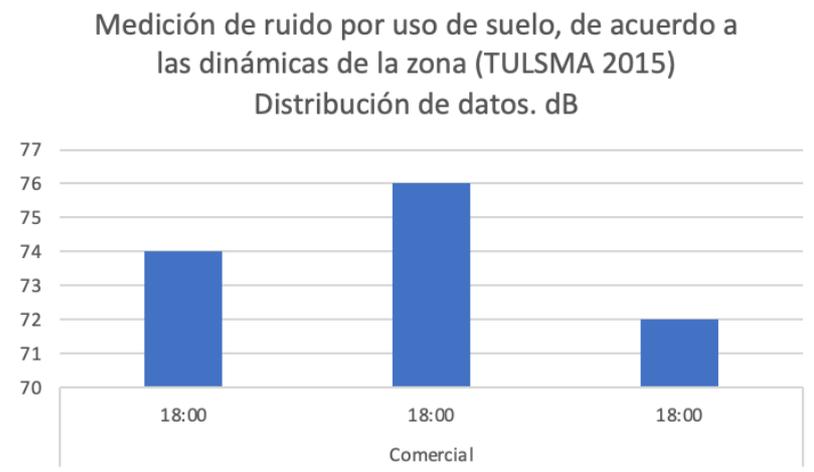
Día 2 (13:00)



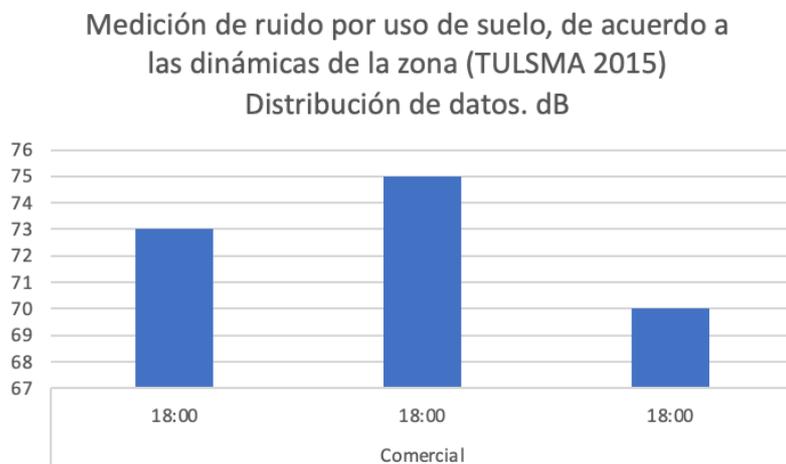
Nodos: 4, 5, 6



Nodos: 1, 2, 3 Día 2 (18:00)



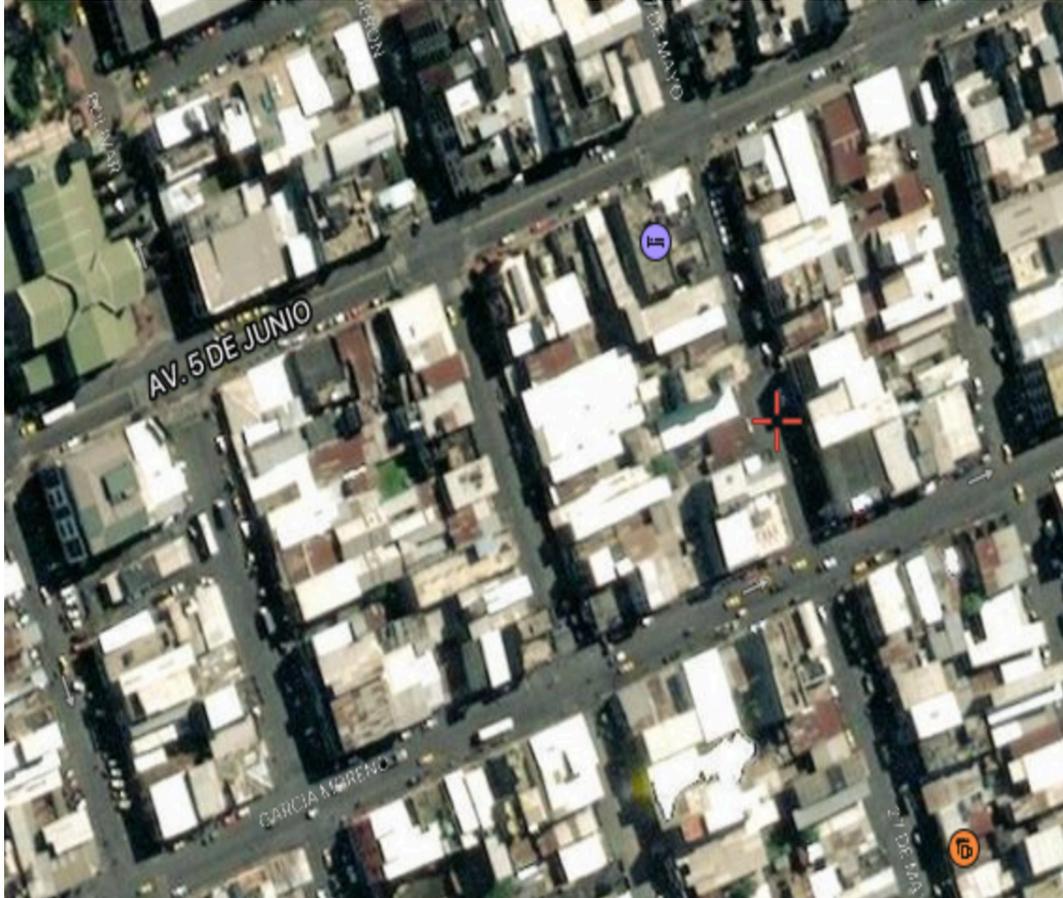
Nodos: 4, 5, 6



Fuente: Autor

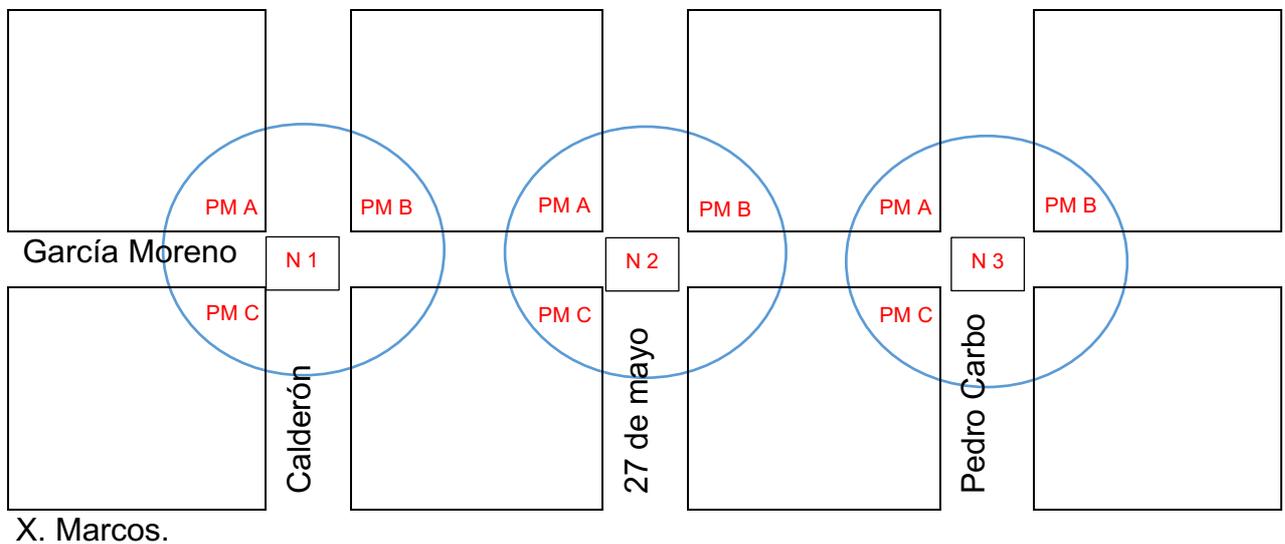
3.2 Índice de figuras

3.2.1 Figura 1. Casco comercial de la ciudad del cantón Babahoyo



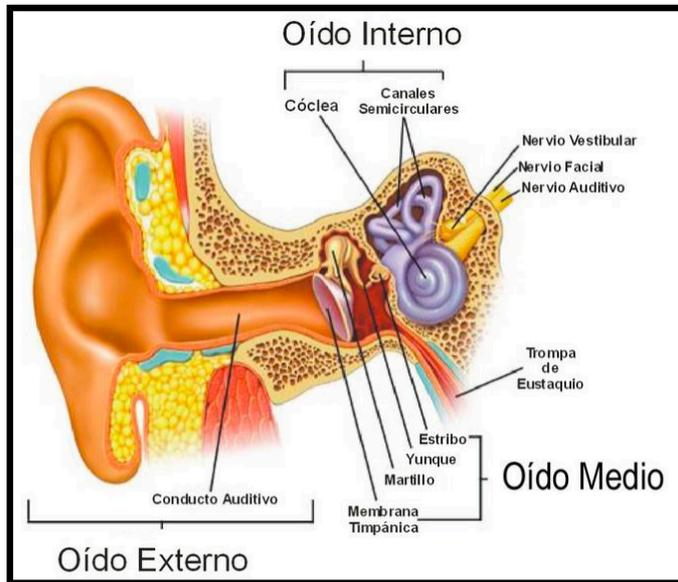
3.2.2 Figura 2. Nodos en la zona a investigar

Av. 5 de junio



3.2.3 Figura 3.

Partes del oído.



3.2.4 Figura 4. Sonómetro Amprobe SM-20-A

