



Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Fecha: 06 de Septiembre de 2021

C. Mariana Gómez Rangel

Pasante del Programa Educativo de Ingeniería Ambiental

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
“Técnicas de medición de ruido e instrumentación”

En la modalidad de: Curso Especial de Titulación

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Rubén Alejandro Vázquez Sánchez

Dr. Juan Antonio Villanueva Hernández

Dr. Carlos Manuel García Lara

Firmas:

Ccp. Expediente

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

CURSO ESPECIAL DE TITULACIÓN

TRABAJO DOCUMENTAL

TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE RUIDO E
INSTRUMENTACIÓN

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA:
MARIANA GÓMEZ RANGEL

DIRECTOR:
DR. RUBÉN ALEJANDRO VÁZQUEZ SÁNCHEZ

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

SEPTIEMBRE 2021



Índice

1.	Introducción	4
2.	Objetivos	7
3.	Marco teórico	8
3.1	Verificación de las condiciones meteorológicas	14
3.2	Técnicas	15
3.3	Instrumentos de medición	19
3.3.1	Sonómetros	19
3.3.2	Dosímetro	22
3.3.3	Pistófono	24
3.3.4	Analizador de Espectro	25
3.3.5	Aplicaciones móviles	26
3.3.6	Modelos matemáticos	27
4.	Metodología	29
5.	Conclusiones	31
6.	Referencias	32

Índice de imágenes

Imagen 1. Distribución espacial de las características de los puntos de medición	13
Imagen 2. Partes de un sonómetro	21
Imagen 3. Dosímetro de ruido	22
Imagen 4. Uso del pistófono	24
Imagen 5. Analizador de espectro de 1.5 Ghz	25
Imagen 6. Aplicaciones móviles para medir ruido	27
Imagen 7. Gráficas de los pasos realizados para la realización del trabajo	30

1. Introducción

El ruido es un sonido de gran magnitud que suele ser incomodo e interrumpe la comunicación normal. El ruido se caracteriza por ser de percepción subjetiva mientras que según Parraga y García (2005) el sonido puede ser medido en decibeles (dB) el cuál es el logaritmo decimal del cociente de dos sonidos cuya intensidad se compara (Peñaloza *et al.*, 2016), normalmente esta medición se hace en un rango de 10 hasta 150 dB de tipo A, ya que es el mejor determinando la molestia y el daño para el oído humano, de manera que se ha convertido en la medida básica para la medición sonora (Alfie y Salinas, 2017). La contaminación por ruido tiene distintas técnicas de medición, generalmente se dividen en cuantitativos y cualitativos: La técnica cuantitativa se centra en el fenómeno físico, por lo cual se apoya en instrumentos profesionales como los sonómetros, posteriormente los resultados se pueden representar por mapas de ruido, mientras que técnicas cualitativas se apoyan en análisis de opiniones (Rodríguez-Manzo y Juárez, *et al.*, 2020).

Muchas mediciones se centran en las urbes ya que se han convertido en lugares de alta concentración poblacional, la vida diaria de sus habitantes repercute en el ambiente que los rodea, muchas de estas actividades desencadenan contaminantes de varios aspectos como los de tipo atmosféricos, hídricos o del suelo, que normalmente suelen ser los más estudiados (Rodríguez, 2015), por su parte la contaminación por ruido ha tomado gran relevancia ya que este fenómeno ha ido incrementando especialmente en las grandes ciudades, por ejemplo, debido al uso predominante de vehículos, en especial por los motores y el ruido de las llantas que provocan sonidos excesivos, típicos del ambiente ciudadano (Alfie y Salinas, 2017). Otros ejemplos de causantes de ruido ambiental se les atribuye a los aviones, construcciones, industrias, actividades comerciales, etc. (Rodríguez-Manzo *et al.*, 2016).

La primera ocasión que la contaminación por ruido tomó un papel importante en el tema ambiental fue en el año de 1972 donde la Organización Mundial de la Salud (OMS) lo clasificó como un contaminante importante, posteriormente el tema lo retomó la Conferencia de Estocolmo (Amable *et al.*, 2017). Aunque la contaminación por ruido se ha venido estudiando desde relativamente poco tiempo, estudios aseveran que este problema se incrementa cuanto más transcurren los años ya que hay una relación directa entre el desarrollo de un país y el nivel de contaminación acústica (Ramírez y Domínguez, 2011; Corpocaldas, 2015). Tal es el caso de la encuesta nacional de salud y nutrición en Estados Unidos, la cual demostró que la pérdida de audición entre adolescentes aumento de 3% a un 5% entre 1994 y 2006 (OMS, 2015). Ha sido tanto el incremento en los últimos años que para Francia es la primera causa de contaminación (González y Fernández,

2014) siendo Japón la ciudad con más ruido del mundo seguido de España donde 1 de cada 4 españoles vive sobre el índice permitido, afectando su salud. En el 2019 la OMS admitió que la contaminación auditiva era la segunda causa más perjudicial después de la contaminación atmosférica (González y Fernández, 2014; SEMARNAT, 2017).

En México desde hace 13 años el ruido es el segundo tipo de contaminante con más denuncias ante la Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México y se considera que este contaminante es el más importante en la Zona Metropolitana del Valle de México con 5 millones de vehículos en circulación (Cacho, 2017). En la ciudad de México comúnmente se rebasan los límites permitidos por la norma, aún más en lugares como el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y el tren que recorre la alcaldía Miguel Hidalgo, incluso en las vialidades se llega a un nivel de 80 dB (Rivas, 2020). En la ciudad de Querétaro el estudio de Peñaloza *et al.* (2016) en cuál midió el ruido en cuatro avenidas de la ciudad todos sus resultados estuvieron por encima del límite permitido en la norma, es decir la NOM-081-SEMARNAT-1994.

En la ciudad de Tuxtla Gutiérrez en el año 2009 la Universidad Autónoma de Chiapas realizó un estudio sonoro el cuál arrojó como resultado que en la zona centro de la ciudad habían niveles de 74 dB y que la zona más ruidosa era la zona sur oriente de la ciudad con un nivel de hasta 93 dB, según la Agencia de Servicios Informativos de Chiapas (2009) esta investigación se realizó usando técnicas cuantitativas, realizando mediciones diurnas y de técnicas cualitativas, mediante aplicaciones de encuestas de percepción a la ciudadanía. Por otra parte, en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) se realizó un estudio en el 2015, el cuál arrojó que la facultad que más emite más ruido es la de psicología con un nivel de 85 dB y que los datos más bajos estaban alrededor de los 59 dB, concluyendo así que, aunque el estudio se realizó con aulas con pocos estudiantes los niveles de ruido con aulas totalmente llenas podrían ser mayores (Escobar, 2015).

A diferencia que otros tipos de contaminantes, el ruido tiene la característica de ser fácilmente emitido hacia la atmosfera, no deja residuos, solo es percibido por el oído y no es acumulable en el medio ambiente aunque sí lo es en las personas, por lo cual la medición del ruido resulta importante ya que a altos niveles de ruido se pueden producir efectos adversos en la salud cuando se rebasa los niveles permitidos, que según la OMS éstos no deberían sobrepasar los 70 dB (González y Fernández, 2014; SEMARNAT, 2017; Elías, 2019), sobrepasar este nivel suelen repercutir en la pérdida de percepción auditiva, alteraciones cerebrales, cardiacos o hasta respiratorios (Platzer *et al.*, 2007), es así que al conocer los niveles auditivos podemos controlar y mejorar la calidad de vida de las personas tomando en cuenta que a nivel mundial 250 millones de personas manifiestan algún tipo de sordera y según la OMS en México 10 millones de personas presentan problemas auditivos, así también la medición del ruido ayuda a la realización de planes de monitoreo que ayudan a mejorar políticas públicas de la ciudad (Elías, 2019; Rodríguez-Manzo *et al.*, 2016).

Dicho lo anterior es importante que se dé a conocer las técnicas para medir dicho contaminante, muchas veces estas mediciones se pueden de realizar de manera muy sencilla de tal manera que un ciudadano promedio podría así saber si su entorno cumple con los niveles permitidos de ruido, es por ello que este trabajo resulta importante ya que reúne distintas técnicas de medición y el lector puede elegir la que más le convenga según los instrumentos que posea.

Para fines de este trabajo solo se describirá las técnicas de carácter cuantitativas, para ello el método será la compilación de varios trabajos y las diversas técnicas que utilizaron en sus estudios. De este trabajo se espera que resulte la integración de dichos procedimientos con el fin de que el lector conozca los pasos e instrumentos más importantes y necesarios para la medición de ruido. La información se ordenará de la siguiente forma:

- Objetivos del trabajo
- Metodología
- Conclusiones

Al igual que Samaniego (2015) las técnicas aquí explicadas se clasificarán en aquellas que usan instrumentos especializados: sonómetros, las que utilizan dispositivos móviles y por último aquellas técnicas que se basan en modelos físicos.

Para determinar el nivel sonoro con técnicas cuantitativas según Elías (2019) demuestra que debemos realizar:

- Un reconocimiento inicial
- Mediciones en situ
- Procesar los datos arrojados
- Elaborar un informe con los resultados

2. Objetivos

- OBJETIVO: Identificar las técnicas más usadas para la medición del ruido ambiental
 - OBJETIVO PARTICULAR: Documentar estudios que utilicen técnicas cuantitativas de medición de ruido.
 - OBJETIVO PARTICULAR: Describir los procesos para la medición de ruido según las técnicas identificadas.
 - OBJETIVO PARTICULAR: Explicar el funcionamiento de los instrumentos de medición usados en los procesos de medición de ruido.

3. Marco teórico

Los métodos cuantitativos se llevan a cabo por la medición del fenómeno acústico físico, gracias al empleo de instrumentos especializados conocidos como sonómetros. Otra forma de realizarlos es mediante la generación de mapas urbanos (Rodríguez-Manzo y Juárez, 2020).

A continuación, se presentan algunos conceptos que ayudan a entender mejor las técnicas de medición. Los primeros están basados en la NOM-081-SEMARNAT-1994 la cual establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición:

- Medición continua: Es la medición de un ruido fluctuante que se realiza sin interrupción durante todo el período de observación. Debe registrarse necesariamente en forma gráfica para su evaluación.
- Medición semicontinua: Es la medición de un ruido fluctuante que se realiza mediante la obtención aleatoria de muestras durante el período de observación.
- Nivel de ruido: Es el nivel sonoro causado por el ruido emitido por una fuente fija en su entorno.
- Nivel sonoro: Es el nivel de presión acústica ponderada por una red normalizada de sonoridad, o sea, el nivel de presión acústica ponderado por una curva. Se mide en decibeles (dB).
- Nivel sonoro de fondo: Es el nivel sonoro que está presente en torno a una fuente fija que pretenda medirse producido por todas las causas excepto la fuente misma.

- Nivel equivalente: Es el nivel de energía acústica uniforme y constante que contiene la misma energía que el ruido producido en forma fluctuante por una fuente fija durante el período de observación. Su símbolo es, Neq .
- Pistófono: Es el instrumento en el cual un pistón rígido puede estar animado de un movimiento alternativo de frecuencia y de amplitud conocidas, y que permite obtener una presión acústica definida en una cámara de pequeñas dimensiones.
- Sonómetro: Es el aparato normalizado que comprende un micrófono, un amplificador, redes de ponderación y un indicador de nivel, que se utiliza para la medida de los niveles de ruido según especificaciones determinadas.
- Varianza: Es la suma de las desviaciones cuadráticas de un nivel sonoro cualquiera, respecto a la media, dividida entre el número de muestras menos.
- Zonas Críticas: Son las áreas aledañas a la parte exterior de la colindancia del predio de la fuente fija donde ésta produce las mayores emisiones de energía acústica en forma de ruido. Se indican como ZC.

Según Montbrun (2006) las escalas de medición son de tipo: A, B y C. Estas diferentes escalas existen para imitar la respuesta del oído humano a exposiciones de ruido de tipo bajo, mediano y alto, la ventaja del tipo A es que funciona como una sencilla suma de los componentes de presión sonora para todas las frecuencias incluidas en la escala. Es así que podemos definir según la Asociación Española para la Calidad Acústica (2011) al decibelio con ponderación A (dBA) como aquel adaptado a la percepción del oído humano, donde se “quita” parte de las bajas y las muy altas frecuencias. De esta manera, después de la medición se filtra el sonido para conservar solamente las frecuencias más dañinas para el oído, razón por la cual la exposición medida en dBA es un buen indicador del riesgo auditivo.

Esta misma Asociación Española para la Calidad Acústica (2011) nos dice que el ruido de fondo o residual es aquel ruido remanente cuando cesa toda actividad y en el caso que haya más actividades que afecten a la medida, también se tendrán que parar (si es posible). Cuanta más diferencia de nivel hay entre la actividad y el ruido de fondo, más molesta será ésta. Si el ruido de fondo no se tiene en cuenta puede suponer desviaciones superiores a 3 dBA en los niveles erróneamente atribuidos a la fuente de interés. También es fácil caer en el error de atribuir a la fuente de ruido componentes de baja frecuencia o tonales que forman parte del ruido de fondo de la zona.

Por otro lado, Gordillo y Ochoa (2015) nos brindan los siguientes conceptos:

- Presión sonora: Diferencia entre la presión instantánea debida al sonido y la presión atmosférica, es el producto de la propagación del sonido, se expresa en micropascales (μPa).

- Nivel de presión sonora (L_p)

El nivel de presión sonora se expresa en decibeles (dB) y se explica

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right) \text{ dB}$$

Dónde:

P_0 = Presión Sonora de referencia

P = Presión sonora instantánea

- Decibeles

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 (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.

- Instrumento de medición

Sonómetros: 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.

Está compuesto por lo general de:

- a. Un micrófono: transforma la señal acústica en señal eléctrica proporcional.

- b. Un amplificador: permite amplificar la señal del micrófono para permitir la medida de los niveles más bajos de presión sonora.

- c. Filtros de ponderación: permite adecuar la respuesta del aparato a la del oído.
- d. Ponderación de frecuencia: de tipo A, B y C, cuyas lecturas se indican dBA, dBB o dBC respectivamente.
- e. Ponderaciones de tiempo: de tipo S (show), F (fase), I (impulsive) y P (peca).

Los sonómetros en general presentan tres o cuatro escalas diferentes, como ya se mencionó las más usadas son las llamadas escalas A, B y C.

- Nivel de Presión Sonora Ponderado (LPA): Es la variación de presión que se registra en un instante de medición.

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

Dónde:

PA = es la presión evaluada con ponderación (A).

PO = valor de la presión sonora de referencia, $2 \cdot 10^{-5}$ (N/m²).

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.

- Nivel de presión sonora continua equivalente ponderación A (LAeq,T)

Expresa el nivel de presión que habría sido por un ruido constante con la misma energía que el ruido realmente percibido, durante el mismo intervalo de tiempo. El LAeq,T, debe ir acompañado del periodo de tiempo al que se refiere. Su unidad de representación es el decibelio (dB).

$$L_{AeqT} = 10 \text{ Log} \left(\frac{1}{10} \int_0^T \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \right)$$

Dónde:

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

$P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ (N/m²).

T = Periodo de la medición.

- Tipo de respuesta: Es la respuesta del instrumento de medición que evalúa el nivel de presión sonora media en un intervalo de 1 segundo cuando es lenta (Slow) y en un intervalo de 125 microsegundos cuando es respuesta rápida (fast).

- Medición de ruido fluctuante

Se dirige el instrumento hacia la fuente evaluada y se determina el nivel de presión sonora equivalente durante un periodo de por lo menos 10 minutos en cada uno de los puntos de muestreo.

Para la Asociación Española para la Calidad Acústica (2011) hay criterios importantes de selección de los puntos de medida, es importante tenerlos en cuenta para obtener resultados óptimos.

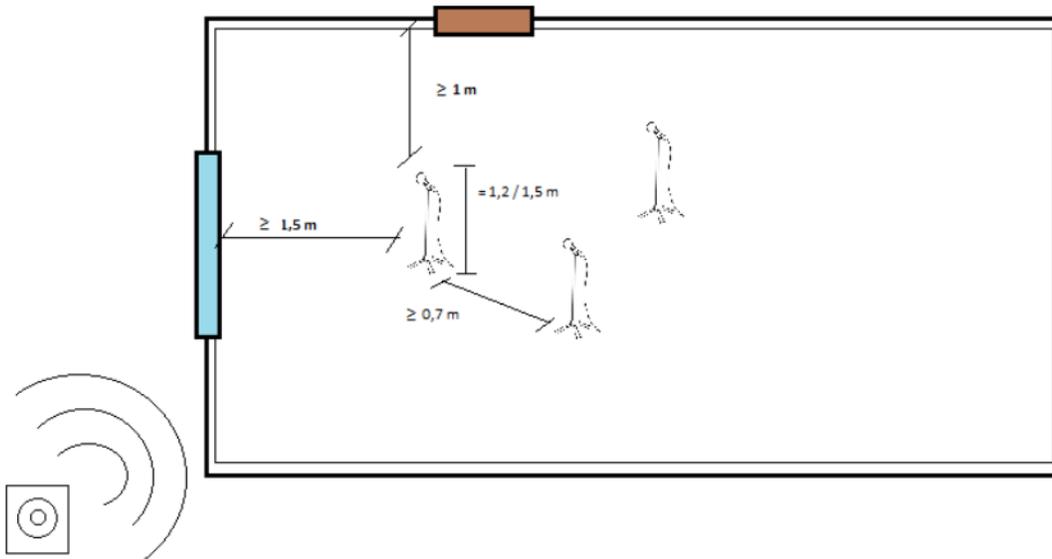
Siempre que sea posible: medir en al menos 3 puntos distintos, cumpliendo que:

- a. Exista una distancia mínima entre los puntos elegidos de 1 metro.
- b. Exista, al menos, 1 metro de distancia con las paredes y otras superficies susceptibles de generar reflexiones y falsear la medida.
- c. Exista una altura de entre 1,2 y 1,5 metros sobre el suelo.
- d. Exista una distancia de al menos 1,5 metros respecto ventanas o aberturas de admisión de aire.

e. Exista una distancia entre las posiciones de micrófono vecinas de al menos 0,7 metros.

f. Si se sospecha que el ruido de baja frecuencia es dominante, uno de los puntos se situará en una esquina, estando a 0,5 metros de todas las superficies límite, y con la esquina formada por las paredes más pesadas y sin ningún tipo de abertura en la pared que esté más próxima de 0,5 metros esquina.

Imagen 1. Distribución espacial de las características de los puntos de medición.



Fuente: Asociación Española para la Calidad Acústica (2011).

3.1 Verificación de las condiciones meteorológicas

Hay que tener en cuenta algunas condiciones importantes ya que según Echeverri y González (2011) las mediciones deben efectuarse en tiempo seco; es decir evitar lluvias, lloviznas, truenos o caída de granizo. También tenemos que verificar que si las mediciones de ruido se realizan sobre un pavimento y/o superficie donde se presenta tráfico de vehículos, éste debe estar completamente seco; en caso contrario, no hay inconveniente en que estén mojados.

A su vez el micrófono del instrumento de medición a utilizar se protege con una pantalla protectora contra el viento durante las mediciones en exteriores, en caso de presencia de viento se debe medir la velocidad de este y si es superior a 3 m/s, se deben hacer ajustes de acuerdo con las curvas de respuesta suministradas por el fabricante del equipo de medición para las pantallas protectoras contra el viento, o se desistirá de la medición en ese momento y se deja constancia en el correspondiente informe. La medición de la velocidad del viento debe hacerse a la misma altura a la que está ubicado el micrófono, y en el mismo momento y lugar donde se llevan a cabo las mediciones de emisión de ruido. Se puede, también, estimar la velocidad del viento a través de un procedimiento de cálculo de amplia aceptación, a partir de una medición de la misma a una altura diferente (Echeverri y González, 2011).

3.2 Técnicas

Según Jaureguiberry (2000) la técnica que usó en su trabajo se describe a continuación:

1. Calibración del instrumento
 - 1.1 Revisión de la batería del instrumento
 - 1.2 Calibración con ayuda de un calibrador externo o pistófono

2. Medición
 - 2.2 Medición en dirección de la fuerte ruidosa
 - 2.3 Cuando no se tiene lugar fijo, se debe medir no muy cerca de las paredes
 - 2.4 Si el ruido es continuo se debe medir en “lento” y si es para picos semide en “rápido”,

estas opciones están dentro de las opciones del instrumento de medición.

3. Resultados
 - 3.1 Día y hora de medición
 - 3.2 Escala en la que se midió
 - 3.3 Ubicación de los puntos medidos
 - 3.4 Descripción de las maquinas que estaban funcionando alrededor
 - 3.5 Descripción global del lugar

Para Samaniego (2015) su técnica se basó en lo siguiente:

1. Preparación
 - 1.1 Identificación del área de estudio
 - 1.2 Definir horario de levantamiento
 - 1.3 Selección de aplicación móvil a utilizar: En este caso “NOISETUBE” que almacena datos en xml y se puede visualizar en la computadora.
 - 1.4 Selección y configuración de equipos (sonómetros o celular móvil)

❖ Sonómetro

- Preamplificador: Dispositivo que sirve para adaptar la impedancia acústica, la cuál es la resistencia que impone un medio a que las ondas se propagan en el medio.
- Micrófono: Transforma las ondas sonoras en energía eléctrica y viceversa. Es sensible a la humedad y los cambios de presión barométrica, es importante su calibración por que se asegura la presión de las mediciones.
- Pantalla de viento: Esponja especial que sirve para reducir el sonido distorsionante ocasionados por turbulencias del viento.
- Parámetros de medición:
 - SPL: Nivel de presión sonora: Medida básica de la intensidad del ruido en dB.
 - Lmax: Nivel máximo grabado en cada intervalo de medición con una configuración específica.
 - Lmin: Nivel mínimo grabado en cada intervalo de medición con una configuración específica.
 - Lpk: 90 dB valor pico instantáneo del nivel de presión sonora máximo, dentro de un cierto intervalo de tiempo expresado en dB.
 - Leq/Lavq: Nivel medio de presión sonora equivalente de un período de tiempo de intercambio de 3dB.
 - SEL: Nivel constante de presión sonora expuesta en dB. Durante una segunda entrega la misma cantidad de energía acústica que la de toda la medición.
 - LN(L1-L99): Exceso de presión sonora expresado en porcentaje.
 - TWA: Tiempo promedio ponderado: Nivel sonoro expresado en dB acumulado en cualquier periodo de tiempo relacionado con la media en un promedio de 8 horas.
 - LDN: Media de presión sonora grabada durante 24 horas del día en el cual el instrumento impone una penalidad de 10 dB al horario de 10 pm a 7am (ruido nocturno).
 - CNEL: Carga de ruido comunitario: Media de presión sonora para un estudio de 24 horas con factores adicionales al tiempo. Mediciones ente 7-10 pm aumenta 5 dB y entre 10pm-7 am aumenta 10 dB.
 - Lc-a Opción activada que permite medir simultáneamente ambas señales A y C de las curvas de nivel de presión sonora.
 - Er: tasa de intercambio.

❖ Dispositivo móvil

Descarga de la aplicación “NoiseTube” y realizar la configuración en preferencias y guardar los datos en una tarjeta de memoria.

2. Levantamiento de datos:

Anotar datos durante 15 minutos en 7 distintas horas. Por cada punto se llena una ficha de datos de levantamiento de información in situ.

3. Descarga y estructuración de datos.

La información descargada de los dispositivos (sonómetro, celular) se estructuró e integró en tablas en formato Excel, registrando en ellas la media de los datos en dB medidos durante los 15 minutos de levantamiento y las características del entorno (vías y vehículos)

Se creó una ficha completa de cada sitio de muestreo con la información levantada mediante las fichas físicas, con gráficas estadísticas que muestran el comportamiento del ruido ambiente en el sitio, información general del sector en donde está ubicado el sitio de muestreo y fotografías del levantamiento de información.

Los datos se organizaron mediante el software ArcGIS 10.1 para lo cual se enlaza la información (sonómetro, móvil y variables del entorno) estructurada en Excel con la cartografía de las vías del área de estudio, teniendo como resultado un archivo shapefile de vías con la información de ruido y de característica del entorno (vías y vehículos).

4. Procesamiento de datos

4.1 Generación de modelos de distribución espacial de ruido ambiente mediante el software Datakustik CadnaA

Es especializado en implementar algoritmos para evaluar los niveles sonoros de una zona de estudio.

5. Análisis

Para este proceso se analizaron:

Error cuadrático medio RMSE: Es un error sistemático que da información sobre el rendimiento o precisión de un conjunto de datos. Permite comparar valores medidos con los estimados; este modelo matemático indica si existe una tendencia a sobreestimar o subestimar los valores obtenidos.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2}$$

Regresión lineal: es un método matemático que modela la relación entre una variable dependientes Y, las variables independientes X (sonómetro). Viene dada por la ecuación: $Y = a + bx$

- Regresión lineal simple: Sólo se maneja una variable independiente, por lo que sólo cuenta con dos parámetros.
- Regresión lineal múltiple: permite trabajar con una variable a nivel de intervalo o razón. Es posible analizar la relación entre dos o más variables a través de ecuaciones. Además de las técnicas empleadas se toma como variable la ubicación espacial de los datos.

Coefficiente de correlación de Pearson: es una medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. A diferencia de la covarianza, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables.

Coefficiente de determinación R^2 : Indica el porcentaje de ajuste de un determinado modelo o conjunto de datos; permite medir la relación lineal entre los valores medidos y los estimados. Estos valores varían entre cero y uno, siendo uno el valor óptimo indicando la relación lineal perfecta de los valores; los valores superiores a 0,9 indican una excelente correlación, los valores entre 0,7 – 0,89 indican correlación alta, 0,4 – 0,69 correlación moderada y pobre los valores inferiores.

Para observar la relación de los valores medidos y los estimados se emplearon gráficos de dispersión.

3.3 Instrumentos de medición

En cuantos a la forma de medir el ruido existen dos formas según Flores *et al.* (2001) la primera se basa en las tomas de lecturas con ayuda de instrumentos especializados como son los sonómetros ya que proporcionan información sobre una situación que viene determinada por una serie de condiciones específicas y el momento en que se toman las medidas, la segunda manera es usando métodos de previsión que permiten calcular los niveles de ruido a través de la simulación de situaciones reales o predecibles, mediante modelos matemáticos o físicos.

3.3.1 Sonómetros

Según el tipo de medidas que realizan se pueden dividir en:

- Convencionales: miden instantáneamente el nivel de presión sonora con premediación temporal exponencial, usando una constante de tiempo especificada.
- Integradores-promediadores: miden niveles de sonido promediados en un periodo de tiempo.
- Integradores: miden niveles de exposición sonora.

Según la empresa Brüel y Kjaer (2017) un sonómetro está formado por un micrófono, un preamplificador, un sistema de procesamiento de señal y una pantalla. El micrófono convierte una señal sonora en una señal eléctrica proporcional. El tipo de micrófono más adecuado para los sonómetros es el de condensador, ya que ofrece una buena combinación de precisión, estabilidad y fiabilidad. La señal eléctrica que genera el micrófono tiene un nivel muy bajo; por ello, se hace pasar por un preamplificador antes de enviarla al procesador principal. El procesamiento incluye aplicar a la señal ponderaciones frecuenciales y temporales.

- Ponderación temporal

La ponderación temporal (o ponderación de tiempo) especifica cómo reacciona el sonómetro a los cambios en la presión sonora. Es una media exponencial de una señal fluctuante y proporciona un valor más fácil de leer. El sonómetro aplica ponderaciones Fast, Slow e Impulse (o “F”, “S” e “I”).

- Análisis en frecuencia

Cuando se necesita información más detallada sobre un sonido complejo, el espectro de frecuencias puede dividirse en secciones o “bandas”. Para ello se utilizan filtros electrónicos o digitales, que eliminan todas las frecuencias que quedan fuera de la banda seleccionada. Estas bandas suelen tener un ancho de banda de una octava o de un tercio de octava.

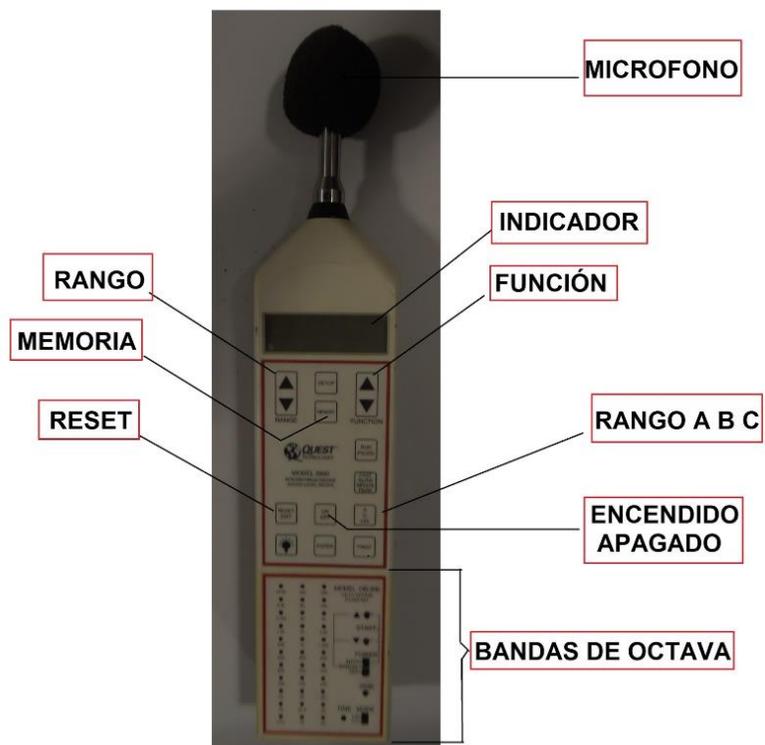
Según Brüel y Kjaer (2017) una octava es una banda de frecuencia en la que la frecuencia más alta es el doble de la más baja. Por ejemplo, un filtro de octava con una frecuencia central de 1 kHz admite las frecuencias comprendidas entre 707 y 1414 Hz, y rechaza todas las demás (el nombre “octava” viene de la escala musical diatónica, en donde una octava abarca ocho notas). Un tercio de octava cubre un intervalo en el que la frecuencia más alta es 1,26 veces la más baja.

El proceso de dividir un sonido complejo en estos intervalos se denomina “análisis en frecuencia” o “análisis de frecuencia” y los resultados se presentan en un gráfico llamado espectrograma. Después de aplicar a la señal una ponderación y/o de dividirla en bandas de frecuencia, la señal resultante se amplifica y se determina su valor cuadrático medio (RMS) mediante un detector. El RMS es un tipo especial de valor promedio matemático. Es importante para las medidas de ruido porque está directamente relacionado con la cantidad de energía presente en el sonido que se mide.

Según Flores *et al.* (2001) las normas mexicanas NMX-AA-047-1977 y la NMX-AA-059-1978, presentan los requisitos que deben reunir los sonómetros. Por ejemplo, en la determinación del ruido generado por las carreteras, deben usarse sonómetros de precisión. Este está compuesto por:

- Micrófono
- Amplificador
- Redes de ponderación
- Atenuador
- Instrumento indicador

Imagen 2. Partes de un sonómetro



Fuente: Peña *et al.* (2016).

3.3.2 Dosímetro

Este instrumento mide los niveles de exposición sonora de un individuo y se puede colocar en el cinturón o los hombros. Se pueden utilizar en los espacios confinados o los lugares en los que existen mucho riesgo de incendio en vez de los sonómetros. Otras ventajas de los dosímetros son que miden la exposición de un día laboral completo, en distintos lugares de trabajo, sin molestar o distraer los trabajadores gracias a la tecnología moderna y diseños innovadores. Además, estos equipos son ligeros y discretos para que los trabajadores lleven los dosímetros y sigan trabajando sin las molestias (Roberts, 2018).

Imagen 3. Dosímetro de ruido



Fuente: Twilight (2017).

Características según Elicrom (2021):

- Medición simultánea de todos los parámetros
- Evaluación de la exposición al ruido sin y con protectores auditivos mediante los métodos SNR y HML
- Proyección de parámetros
- Gran capacidad de almacenaje; guarda la evolución temporal de la medición
- Puerto de descarga y alimentación vía USB

3.3.3 Pistófono

Los calibradores acústicos también conocidos como pistófonos son instrumentos muy sencillos que permiten verificar los diferentes equipos de medición de ruido a uno o varios niveles de presión sonora en una o diferentes frecuencias (Intencon, 2014). Este instrumento es usado para asegurar el correcto funcionamiento de un sonómetro o un dosímetro. Su funcionamiento consiste en producir un sonido estable a una frecuencia predeterminada. La lectura del sonómetro hace coincidir con este sonido. En general, disponen de un selector que permite generar uno o más tonos a una frecuencia de 1 kHz. Representa un medio preciso y económico para realizar una verificación antes y después de la medición (acoustiblok, 2016).

Imagen 4. Uso del pistófono.



Fuente: 3M División de Salud Ocupacional y Seguridad Ambiental (2012).

Según la Consejería de medioambiente (2007) la Norma ISO 1996, la calibración de un sonómetro se debe llevar a cabo mediante un calibrador sonoro adecuado al modelo de sonómetro que estemos utilizando.

Dichas calibraciones deben ser ejecutadas: Antes y después de cada serie de medidas, usar un Calibrador acústico o Pistófono específico al sonómetro seleccionado, guardar los resultados de la calibración. Si las medidas se hacen durante un tiempo prolongado, verificar al menos dos veces al día con el método descrito más arriba o con un sistema integral de calibración

3.3.4 Analizador de Espectro

Este representa los componentes espectrales de una señal partiendo de una transformada de Fourier. Existen analizadores de frecuencias analógicos y digitales y estos cuentan con sensores para señales acústicas, ópticas o eléctricas. Mediante gráficas con escalas logarítmicas se muestran los componentes espectrales de la señal (acoustiblok, 2016). En un analizador de espectro se reemplaza el filtro de ponderación por uno o más filtros llamados “pasa-banda”, es decir que estos filtros permiten pasar señales comprendidas en una banda relativamente estrecha de frecuencias y rechaza las restantes. Ya que son selectivos en frecuencia esto significa que el análisis suele ser más detallado (Reza, 2009).

Imagen 5. Analizador de espectro de 1.5 Ghz



Fuente: Ditecom design (2009).

Existen dos tipos de espectro según Reza (2009):

- Analizador en tiempo real de un canal o dos por banco de filtros en paralelo: Éstos son una serie de analizadores que no realizan un barrido frecuencial, sino que obtienen el espectro completo, mediante filtros y un detector de nivel por cada filtro. Se usan para señales que varían rápidamente en amplitud o en contenido frecuencial.
- Analizadores de FFT: Éstos utilizan el algoritmo de la transformada de Fourier para calcular el espectro de bloques de datos de la muestra de longitud finita (1024 o 2048 muestras). La ventaja es la posibilidad de realizar un acercamiento gráfico de una zona concreta en el espectro obtenido.

A su vez se pueden clasificar según el tiempo de obtención de los espectros en:

- Analizadores de tiempo real que obtienen el espectro instantáneamente.
- Analizadores de tiempo diferido que requieren almacenar una muestra del sonido, luego es procesada por varios recursos como los analizadores de bandas seleccionables que se utilizan en combinación con un grabador.

3.3.5 Aplicaciones móviles

El uso de móviles para la realización de las mediciones de ruido se basa en las siguientes ventajas según Torres (2013):

- Portabilidad: Los smartphones están diseñados para llevar en el bolsillo, y las tabletas suelen tener las dimensiones de un cuaderno delgado. Esto permite que el usuario los lleve encima prácticamente en todo momento.
- Conectividad: Buscan una conectividad ubicua, mediante el uso de WiFi, redes móviles y otras tecnologías como Bluetooth o NFC. Además, permiten a las aplicaciones variar su funcionamiento dependiendo de la ubicación del usuario, que se puede obtener a partir de las redes a las que esté conectado el aparato o mediante el uso de GPS. Los dispositivos pueden estar dotados de diversos sensores y actuadores, tales como micrófono, altavoz, entrada y salida de audio, acelerómetro, giroscopio y magnetómetro, entre otros.
- Interactividad: Su característica principal es la pantalla táctil, que ofrece una interacción mucho más directa con el software, sin la mediación de aparatos como el ratón o teclado.

- **Potencia de procesamiento:** Los avances tecnológicos en la fabricación de microchips permiten que se utilicen en estos dispositivos los llamados System on a Chip (SoC), que integran procesadores de dos y hasta cuatro núcleos, GPUs y memoria caché a la altura de los de un ordenador portátil, además de abundante memoria RAM (alrededor de 1GB). La duración limitada de las baterías obliga al sistema operativo a ser muy eficiente en el uso de los recursos.
- **Énfasis en la pantalla:** La superficie útil de los smartphones y tabletas está ocupada en su práctica totalidad por la pantalla táctil, con los botones ocupando una posición y función secundaria. Esto condiciona cómo se desarrollan aplicaciones y da al dispositivo un aspecto de tabula rasa que el desarrollador de aplicaciones llena totalmente con su creación.

Imagen 6. Aplicaciones móviles para medir ruido



Fuente: Hernández (2016).

3.3.6 Modelos matemáticos

La estructura general de los modelos matemáticos según Flores *et al.* (2001) es la siguiente:

- Descripción topográfica del lugar, definiendo la ubicación de los puntos receptores, características absorbentes del terreno, presencia de obstáculos naturales o artificiales, etc.
- Caracterización acústica de las fuentes de emisión (carretera, ferrocarril, etc.), perfil longitudinal, secciones, estructuras (carretera nivelada o elevada, túneles, viaductos, tipo de vehículos, etc.).
- Caracterización acústica de las fuentes (flujo de tránsito, velocidad media, tipo de vehículos, etc.).

- Análisis de la difusión del sonido en su propagación; es necesario tener en cuenta la atenuación debida a la distancia, la absorción del suelo, las reflexiones y difracciones provocadas por los obstáculos y la absorción acústica del aire.
- Salida de resultado.

Según Quintero *et al.* (2018) los modelos matemáticos se dividen en simples y complejos y su selección depende de la utilidad y veracidad de los resultados a obtener. Estos modelos de previsión, que están conformados por ecuaciones matemáticas sencillas, se elaboran a partir de la integración de dos modelos, el modelo de fuente y el modelo de propagación. Los modelos de fuente son esencialmente empíricos y conllevan una concepción estadística del fenómeno.

4. Metodología

La metodología consistió en definir primeramente el tema a investigar, en este caso se centró en el ruido, específicamente en las técnicas de medición de éste y los instrumentos que se necesitan para realizar dicha actividad.

Cuando el tema estuvo asignado se prosiguió a desarrollar los objetivos para poder definir los alcances y desarrollo del trabajo. Para ello se desarrolló un objetivo general y tres específicos. En general los objetivos se centran en identificar, documentar, describir y explicar la teoría que ayuden a desarrollar el tema dado. Una vez planteados se prosiguió a la aceptación por parte de los maestros y para poder continuar con el trabajo de investigación.

Para la búsqueda de bibliografía se priorizaron aquellos trabajos publicados en revistas científicas, en este caso Scielo y Redalyc, también se buscó que no tuvieran más de 5 años de publicación, esto hace que la investigación este sustentada por trabajos científicos y de actualidad. Una vez encontraron, se guardaron y se eligieron los que mejor ayudaran a explicar las técnicas de ruido.

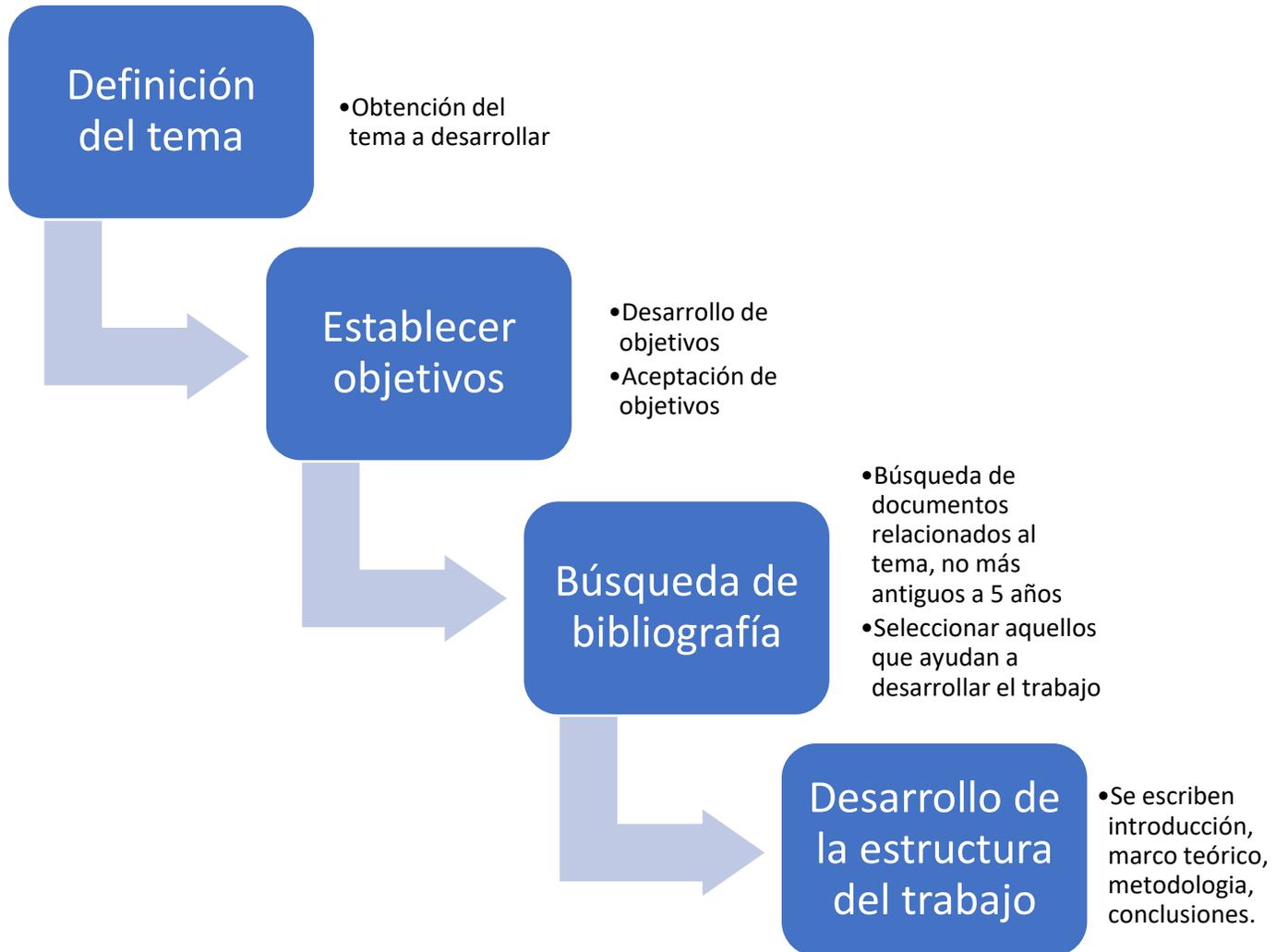
De acuerdo al primer objetivo específico se investigó y se documentaron estudios de ruido, buscando aquellas que utilizaran técnicas cuantitativas de medición. Una vez que se recopilados se eligieron dos, que eran los que mejor estaban descritos, para poder explicar las los pasos más comunes para la medición de ruido, con esto se pudo cumplir con el desarrollo del segundo objetivo específico. Para el tercer objetivo se investigó y se identificaron los instrumentos que más se utilizan, según los trabajos recopilados, para poder desarrollar las técnicas de medición.

El trabajo se divide en introducción, objetivos, metodología y conclusiones. Para el desarrollo de la introducción se prosiguió a describir, primeramente, una idea general sobre que es el ruido, la importancia de medirlo, como se mide y el estado del arte a nivel internacional, nacional y estatal. Posteriormente se encuentran los objetivos ya aprobados, para así continuar con el desarrollo del marco teórico con algunos conceptos que se eligieron para que el lector puede entender mejor a cuando las técnicas con descritas, también se describen algunos datos a considerar para una medición de ruido optima y finalmente se describen las dos técnicas elegidas. Por último, se describieron los instrumentos más usados y se pusieron algunas imágenes que ayudan a que el lector tenga una idea más amplia de como lucen.

Para la metodología se utilizó un diagrama para el mejor entendimiento del desarrollo del trabajo.

Para finalizar se escriben las conclusiones partiendo del panorama general del ruido, los trabajos alrededor del mundo y las técnicas que se utilizan y algunas acciones a tomar en cuenta.

Imagen 7. Gráficas de los pasos realizados para la realización del trabajo



Fuente: Elaboración propia (2021).

5. Conclusiones

En este trabajo se logró cumplir con los cuatro objetivos, tres específicos y el general, los cuales se cumplieron de la siguiente forma:

1. Se logró identificar las técnicas más usadas para la medición del ruido ambiental.
2. Se documentó estudios que utilizan técnicas cuantitativas para la medición de ruido.
3. Se describió en el trabajo los procesos para la medición de ruido según las técnicas previamente identificadas.
4. Se explica el funcionamiento de los instrumentos de medición usados en los procesos de medición de ruido, los cuales fueron: sonómetro, dosímetro, pistófono, analizador de espectro y el uso de aplicaciones móviles para la medición de ruido.

Con base a lo anterior y al propósito del trabajo podemos decir entonces que las técnicas para la medición de ruido se basan en la preparación: ya sea del área, establecimiento de los horarios de toma de muestra y de la calibración de los instrumentos de medición; así como el levantamiento de datos, procesamiento de datos y se finaliza con el análisis de los mismos.

De acuerdo a la bibliografía obtenida es de vital importancia tomar en cuenta algunos datos a considerar al hacer las mediciones como mantener una distancia de 1 m. entre los puntos de medición, lugares que permitan la entrada de aire y del suelo, así como la verificación de las condiciones meteorológicas como la lluvia y los fuertes vientos, ya que pueden interferir en la toma de datos.

6. Referencias

3M División de Salud Ocupacional y Seguridad Ambiental. (2012). Mediciones exactas de calibración de precisión. <https://multimedia.3m.com/mws/media/888931O/catalogo-3m-calibrador-acoustical-ac-300.pdf>

Acoustiblok (2016). Instrumentos para Medir el Ruido. <https://acoustiblok.com.mx/instrumentos-para-medir-el-ruido/>

Agencia de Servicios Informativos de Chiapas. (2009). Daños a la salud por el ruido urbano en Tuxtla Gutiérrez. <http://www.asich.com/danos-a-la-salud-por-el-ruido-urbano-en-tuxtla-gutierrez.html>

Alfie, M. y Salinas, O. (2017). Estudios demográficos y urbanos, 32 (94), 65-96.

Amable, I., Méndez J., Delgado L., Acebo F., de Armas J. y Rivero ML. Contaminación ambiental por ruido. (2017). *Electrón*, 39(3).

Brüel y Kjaer. (2017). ¿Qué es un sonómetro? <https://www.bksv.com/es/knowledge/blog/sound/what-is-a-sound-level-meter>

Cacho, Y. (2017). Contaminación acústica, un problema por resolver. <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/ambiente/19016-contaminacion-acustica-un-problema-por-resolver>

Consejería de medioambiente: servicio de calidad ambiental. (2007). Nivel acústico de evaluación (nae). <https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/18211/10%20NAE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Corpocaldas. (2015) mediciones de ruido ambiental y elaboración del plan de descontaminación por ruido en villamaría, caldas. <http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/543/Informe%20final%20ruido%20Villamaria-2015%20Reducido.pdf>

Ditecom design. (2009). Analizador de espectro con generador de tracking <http://www.ditecom.com/analizador-espectro/analizador-espectro-dsa815-tg.shtml>

Echeverri, C., y González, Alice. (2011). Protocolo para medir la emisión de ruido generado por fuentes fijas. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 10(18), 51-60.

Elías, A. (2019). Ruido ambiental y la norma oficial mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994.

ELICROM (2021). Dosímetros acústicos <https://elicrom.com/dosimetro-de-ruido-dc112d/>

Escobar, E., Aquino, M., Quiñonez, M., Morales, M., Rodríguez, J. y González, O. (2015). Análisis de ruido en aulas y cafetería de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. *Nas-jome*. 9 (16).

Flores, M., Torras, S. y Téllez, R. (2001). Estudio del ruido generado por la operación del transporte carretero. Caso iii, nuevo león. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt193.pdf>

González Sánchez, Y. y Fernández Díaz, Y. (2014). Efectos de la contaminación sónica sobre la salud de estudiantes y docentes, en centros escolares. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3),402-410.

Gordillo y Ochoa (2015). Tesis de licenciatura. “Determinación de niveles de presión sonora (nps) generados por las aeronaves, en el sector sur del aeropuerto mariscal lamar de la ciudad de cuenca”.

Hernández (2016). Sonómetro (Sound Meter), una app para conocer el nivel de ruidos en nuestra clase y/o entorno. <https://creaconlaura.blogspot.com/2016/11/sonometro-sound-meter-una-app-para.html>

INTENCCON (2014). Calibradores Acústicos. <http://www.inteconinc.com/latam/index.php/productos/calibradores-acusticos>

Juareguiberry, M. (2000). Medición de ruido. <http://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/segumar/a13-3/material/Ruido%203.pdf>

Montbrun, N., Rastelli, V., Oliver, K. y Chacón, R. (2006). Medición del impacto ocasionado por ruidos esporádicos de corta duración. *Interciencia*, 31(6), 411-416.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2015). Escuchar sin riesgos. https://www.who.int/pbd/deafness/activities/MLS_Brochure_Spanish_lowres_for_web.pdf

Párraga, M. y García, T. (2005). El ruido y el diseño de un ambiente acústico. *Industrial Data*, 8(2).

Peña, D., Gutiérrez, E. y Muñoz, F. (2016). Ruido en el trabajo. <http://ticbloog.blogspot.com/2015/11/partes-que-componen-un-sonometro.html>

Peñaloza, I., Flores, A. y Hernández, M. (2016). Contaminación acústica en la zona 3 de la ciudad de Querétaro: comparación de los niveles de ruido reales y los apreciados por los habitantes. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 4(9),39-56.

Platzer, L. Iñiguez, R., Cevo, J. y Ayala, L. (2007). Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Santiago de Chile: 67 122-128.

Quintero, J., De Frías, E. y Henríquez, F. (2018). Uso de modelos matemáticos para el cálculo de ruido en las principales avenidas de Panamá. *Revista De Iniciación Científica*, 4(2), 49-56.

Ramírez, A. y Domínguez, E. (2011). El ruido vehicular urbano: problemática agobiante de los países en vías de desarrollo. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(137), 509-530.

Reza, L. (2009). Analizador de componentes espectrales del sonido empleado instrumentación virtual. Tesis de licenciatura. Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. IPN. México <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/2605/Espectrales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rivas, J. (Feb 2020). Contaminación acústica en CDMX, invisible pero muy dañina. <https://www.unotv.com/noticias/portal/investigaciones-especiales/detalle/contaminacion-acustica-en-cdmx-invisible-pero-muy-danina-421941/>

Roberts, C. (2018). ¿Qué diferencias hay entre los sonómetros y los dosímetros?. <https://www.cirrusresearch.es/blog/2018/08/que-diferencias-hay-entre-los-sonometros-y-los-dosimetros/>

Rodríguez-Manzo, Fausto. (2015). Ruido ambiental, comunicación y normatividad en la Ciudad de México. *Razón y Palabra*, (91).

Rodríguez Manzo, F. y Juárez, L. (2020). Exploración cualitativa sobre el ruido ambiental urbano en la Ciudad de México. *Estudios demográficos y urbanos*, 35(3), 803-838.

Rodríguez-Manzo, F., Garay, E., Lancón, L. y Sánchez, G. (2016). Ruido ambiental y políticas públicas. Un presente y hacia el futuro en Azcapotzalco. *Espacialidades. Revista de temas contemporáneos sobre lugares, política y cultura*, 6(1), 72-103.

Samaniego, P. (2015). Validación de técnicas de monitoreo para la estimación de contaminación acústica ambiental en la ciudad de Cuenca. Universidad del Azuay. Maestría en Geomática.

SEMARNAT. (2017). Es Día Mundial de la Descontaminación Acústica. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/ssshhh-es-dia-mundial-de-la-descontaminacion-acustica?idiom=es>

Torres, D. (2013). Sonophone: Desarrollo y evaluación de un sonómetro profesional para iOS <https://core.ac.uk/download/pdf/148666723.pdf>

Twilight. (2017). Dosímetro de Ruido, salida USB, Tenmars <https://twilight.mx/instrumentos/sonometros/51/1012/tn-st130-.html>