

**UNIVERSIDAD TÉCNICA PRIVADA COSMOS  
UNITEPC**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SONIDO**



**PROPUESTA DE REGULACIÓN DE LA BOCINA PARA  
ESTANDARIZAR LOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN EL  
SINDICATO DE TRANSPORTE CIUDAD SATÉLITE.**

**Proyecto de grado para optar al  
Título de Licenciatura en  
Ingeniería de Sonido**

**POSTULANTE: JOEL ROLY LAURA COLQUE**

**TUTOR: ING. YAWAR ATIPAK DURÁN NOGALES**

**EL ALTO - LA PAZ – BOLIVIA**

**2020**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado a mi familia, a mi padre Macario Laura Huanca que con su ejemplo y su apoyo incondicional me ha llenado de fortaleza para vencer los obstáculos mas difíciles que he tenido que afrontar a lo largo de mi vida, a mi madre Antonia Colque de Laura quien ha estado siempre a mi lado cuidándome y apoyándome en los tiempos buenos y malos, a mis hermanos Ezequiel y Santos quienes son mi mas grande motivo de perseverancia, para todos ellos por estar siempre a mi lado.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme siempre las fuerzas para continuar en las adversidades, por guiarme en el sendero de lo sensato y darme sabiduría en las situaciones más difíciles, por cuidarme y guiarme en cada uno de mis pasos, por su amor incondicional y su fidelidad.

A mis Padres por su apoyo incansable, al Ing. Mauricio Campos por haberme guiado en todo el desarrollo del este proyecto, al Ing. Yawar Atipak Durán Nogales y al Lic. Fernando Luis Lovera Sandi por contribuir de manera incondicional con este proyecto.

A todos mis docentes quienes fueron parte fundamental de mi formación académica en estos cinco años de constante aprendizaje en la Universidad.

A mis amigos por los inolvidables momentos que pasamos y de quienes aprendí que la vida esta llena de cambios.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### CAPÍTULO I

<b>1. CONSIDERACIONES GENERALES</b> .....	<b>1</b>
1.1 Justificación.....	4
1.1.1 Justificación académica.....	4
1.1.2 Justificación ambiental.....	4
1.1.3 Justificación social.....	4
1.2 Planteamiento del Problema.....	6
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo general.....	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
1.4 Delimitaciones de Estudio.....	7
1.4.1 Delimitación temporal.....	7
1.4.2 Delimitación espacial.....	7
1.4.3 Delimitación financiera.....	7

### CAPÍTULO II

<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>8</b>
2.1 Marco Conceptual.....	8
2.1.1 Física del sonido.....	8
2.1.1.1 Propagación del sonido.....	8
2.1.1.2 Propiedades del sonido.....	8
2.1.1.2.1 Amplitud.....	9
2.1.1.2.2 Fase.....	9
2.1.1.2.3 Frecuencia.....	9
2.1.1.2.4 Velocidad.....	9
2.1.1.2.5 Longitud de onda.....	9
2.1.1.3 Presión, potencia e intensidad de sonido.....	11
2.1.1.3.1 Potencia de sonido.....	11
2.1.1.3.2 Intensidad de sonido.....	11
2.1.1.3.3 Presión.....	12

2.1.1.4 Niveles y decibelios.....	12
2.1.1.4.1 La escala de decibelios y el uso de niveles.....	12
2.1.1.4.2 Niveles de sonido comunes.....	14
2.1.1.4.3 Cuantificar niveles de sonido.....	14
2.1.1.4.4 Suma, resta y promedio de decibelios.....	15
2.1.1.4.5 Direccionalidad de fuentes de sonido.....	17
2.1.1.4.6 Características de la frecuencia de sonido.....	17
2.1.1.4.7 Niveles de sonido ponderados.....	19
2.1.1.4.8 El rango humano de audición y la fuerza del sonido.....	20
2.1.1.4.9 Relación entre el nivel de presión de sonido y el nivel de potencia de sonido.....	21
2.1.2 Ruido.....	22
2.1.2.1 Apreciación objetiva.....	22
2.1.2.2 Apreciación subjetiva.....	23
2.1.3 Contaminación acústica.....	23
2.1.4 Niveles de presión sonora.....	23
2.1.5 Mediciones acústicas.....	25
2.1.5.1 Medidor de nivel sonoro.....	26
2.1.6 Bocina.....	27
2.1.6.1 Historia.....	27
2.1.6.2 Tipos de bocinas de vehículos.....	27
2.1.6.3 Bocinas electromagnéticas.....	28
2.1.7 Efectos adversos del ruido sobre la salud.....	29
2.1.7.1 Efectos sociales y sobre la conducta.....	29
2.2 Marco de Referencia Legal.....	30
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>3. DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>32</b>
3.1 Tipo de Investigación.....	32
3.2 Diseño de la Investigación.....	32
3.3 Método de Investigación .....	33

3.4 Descripción de la Población .....	33
3.4.1 Universo.....	33
3.4.2 Población.....	33
3.4.3 Localización de la zona de muestreo.....	33
3.5 Descripción del Método de Muestreo .....	34
3.6 Técnicas e Instrumentos de Investigación.....	34
3.6.1 Medición.....	34
3.6.2 Entrevista.....	34
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>35</b>
4.1 Identificación de las Bocinas de Acuerdo a la Marca de Vehículos del Sindicato de Trasporte Público Ciudad Satélite .....	35
4.1.1 Muestra poblacional por marca de vehículos.....	35
4.1.2 Características de las bocinas de los vehículos seleccionados.....	36
4.2 Medición de los Niveles de Presión Sonora de las Bocinas en los Vehículos Seleccionados a partir de el Reglamento de Gestión Ambiental del Municipio de La Paz N° 152/2010.....	37
4.2.1 Cantidad y ubicación de los puntos de medición.....	37
4.2.2 Posicionamiento del sonómetro.....	38
4.2.3 Intervalos de medición.....	39
4.2.4 Instrumento de medición.....	40
4.2.5 Sistema de calibración.....	41
4.2.6 Parámetros aplicados al sonómetro.....	41
4.2.7 Cuadro de evaluación.....	41
4.2.8 Desarrollo de los Niveles de Presión Sonora de las Bocinas de los Vehículos del Sindicato Ciudad Satélite.....	42
4.2.8.1 Promedio de los niveles de presión sonora en decibelios de los puntos P01, P02 y P03.....	42
4.2.8.2 Resultados generales de los niveles de presión sonora de la bocina.....	42
4.2.9 Interpretación de los Resultados.....	45

4.2.9.1 Nivel de presión sonora peak ponderado C, por marcas de vehículos en la posición especificada para ruido impulsivo.....	45
4.3 Elaboración de la Metodología de Regulación Según los Datos Obtenidos .....	48
4.3.1 Metodología de Emisión de Ruido para Vehículos del Transporte Público Ciudad Satélite.....	48
4.3.1.1 Objetivos de protección ambiental y resultados esperados.....	48
4.3.1.2 Parámetros de medición.....	48
4.3.1.3 Disposiciones generales.....	48
4.3.1.4 Definiciones.....	49
4.3.1.5 Límites de emisión.....	50
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Distancia 1m de la fuente.....	38
<b>Figura 2</b> Distancia 7m de la fuente.....	39
<b>Figura 3</b> Al interior del vehículo .....	39
<b>Figura 4</b> Sonómetro PCE-322A.....	40
<b>Figura 5</b> Modelo del cuadro de evaluación.....	42



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Longitud de onda en el aire en condiciones atmosféricas estándares .....	10
<b>Tabla 2</b> Comparación del Factor de Direccionalidad e Índice de Direccionalidad .....	17
<b>Tabla 3</b> Valores de banda de octava para las escalas de ponderación A, C y Z.....	20
<b>Tabla 4</b> Presión eficaz sonora y nivel de presión sonora para algunas fuentes sonoras, ambientes y situaciones acústicas típicas.....	24
<b>Tabla 5</b> Muestra probabilística estratificada de minibuses del sindicato.....	36
<b>Tabla 6</b> Puntos de medición al interior y exterior del vehículo.....	38
<b>Tabla 7</b> Registro de NPS a 1 metro por vehículos.....	43
<b>Tabla 8</b> Registro de NPS a 7 metros por vehículos .....	44
<b>Tabla 9</b> Registro de NPS al interior del vehículo .....	45
<b>Tabla 10</b> Tabla comparativa de niveles a 1 metro de distancia.....	46
<b>Tabla 11</b> Límite de niveles de presión sonora máximos para vehículos del transporte público, según ensayo estacionario .....	50

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Compresión y rarefacción con respecto a la presión atmosférica .....	57
<b>Anexo 2.</b> Presión de Sonido .....	57
<b>Anexo 3.</b> Onda de sonido, variación de presión con relación a la presión atmosférica .....	58
<b>Anexo 4.</b> Amplitud de onda de sonido .....	58
<b>Anexo 5.</b> Comparación de la presión y la señal de presión al cuadrado con tiempo .....	59
<b>Anexo 6.</b> Sonido que se irradia hacia afuera desde la fuente.....	59
<b>Anexo 7.</b> Rango típico de niveles de presión de sonido .....	60
<b>Anexo 8.</b> Factor de direccionalidad Q para condiciones límites de variación.....	60
<b>Anexo 9.</b> Representación grafica de los filtros con ponderación A, C y Z.....	61
<b>Anexo 10.</b> Contornos de igual sonoridad de tonos puros para condiciones de campo sonoro directo (oído abierto, incidencia frontal).....	61
<b>Anexo 11.</b> Diagrama de bloques de un medidor de nivel sonoro (también denominado sonómetro, o decibelímetro).....	62
<b>Anexo 12.</b> Bocina de disco simple .....	62
<b>Anexo 13.</b> Bocina de disco doble.....	62
<b>Anexo 14.</b> Mapa Plaza Torrez.....	63
<b>Anexo 15.</b> Especificaciones Sonómetro PCE-322A.....	63
<b>Anexo 16.</b> Certificado de calibración emitido por IBMETRO .....	64
<b>Anexo 17.</b> Fotografías de las mediciones de las bocinas en los vehículos .....	66
<b>Anexo 18.</b> Gráficas de análisis con Sound Level Meter.....	69
<b>Anexo 19.</b> Solicitud de desarrollo del proyecto enviada al Sindicato Ciudad Satélite .....	72
<b>Anexo 20.</b> Entrevistas .....	73

## **RESUMEN**

El proyecto de investigación se centro en la medición de las bocinas de vehículos del transporte público que transitan en el área urbana del Municipio de La Paz, con la finalidad de estandarizar el nivel de presión sonora que estos emiten, el cual es una alternativa de prevención a la salud auditiva de las personas.

Se realizo una identificación de las diferentes marcas de vehículos que integran el Sindicato de Transportes Ciudad Satélite, a través del cual se determino la población de muestreo. Así mismo, el número de muestra fue dividido entre las diferentes marcas de vehículos.

La medición de los niveles de presión sonora de las bocinas fue realizada a campo abierto empleando un medidor de nivel sonoro, también se adopto como lugar de medición la parada de minibuses del Sindicato Ciudad Satélite ubicado en la plaza Torrez de la Ciudad de El Alto – La Paz. Para la ejecución de la medición se determinaron tres puntos estratégicos, constituidos al interior y exterior del vehículo.

Se realizo un análisis en base a los resultados obtenidos, lo cual ha permitido determinar el nivel óptimo de la bocina que debe ser empleado dentro del los vehículos del transporte público del Sindicato Ciudad Satélite.

Se desarrollo una metodología de medición, en donde se detalla los pasos para su ejecución.

## **ABSTRACT**

The research project focused on the measurement of the horns of public transport vehicles that transit in the urban area of the Municipality of La Paz, in order to standardize the sound pressure level that they emit, which is a prevention alternative to the hearing health of people.

An identification of the different vehicle brands that make up the Ciudad Satélite Transport Union was carried out, through which the sample population was determined. Likewise, the sample number was divided among the different vehicle brands.

The measurement of the sound pressure levels of the horns was carried out in the open using a sound level meter, the minibus stop of the Ciudad Satélite Union located in the Plaza Torrez of the City of El Alto was also adopted as a measurement place. To carry out the measurement, three strategic points were determined, consisting of the interior and exterior of the vehicle.

An analysis was carried out based on the results obtained, which allowed us to determine the optimal level of the horn that should be used within the public transport vehicles of the Ciudad Satélite Union.

A measurement methodology was developed, where the steps for its execution are detailed.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación pretende evaluar los niveles de presión sonora que emiten las bocinas de los vehículos del transporte público, en el casco urbano central del Municipio de La Paz, posteriormente determinar un nivel de presión sonora óptimo que no supere los 100 dB, el cual pueda ser empleado de manera eficiente para la alerta de peligros y su intensidad no sea nocivo para la salud auditiva de los peatones.

La bocina es un dispositivo que emite sonido y que es equipado en vehículos de motor, minibuses, taxis, bicicletas y otros tipos de vehículos. El sonido que emite este dispositivo generalmente se parece a un “bocinazo”. El conductor del vehículo usa la bocina para advertir una acción de riesgo. Sin embargo, en las áreas de congestión de tráfico vehicular significa someterse casi sin excepción a este irritante y ensordecedor ruido, lo cual puede afectar directamente a la salud auditiva de las personas.

Así, el uso de bocinas afecta el bienestar social al generar daños a la salud auditiva humana. Por ello, se ha puesto especial atención en el efecto de la contaminación acústica sobre la salud de los habitantes del casco urbano central del Municipio de La Paz.

# CAPÍTULO

# I

## 1. CONSIDERACIONES GENERALES

La intensidad de la señal que emite una bocina accionada por aire puede alcanzar los 125 dB. Las bocinas deben estar adaptadas en intensidad al tamaño y potencia del vehículo. Es decir, no se puede llevar instalada una bocina de tren o camión en un automóvil y viceversa. Las bocinas electricas pueden llegar a alcanzar intensidades de 120 decibelios, aunque deben estar reguladas a 105 dB a una distancia de 7 metros. (RUTA 401, 2015)

La bocina es uno de los sonidos que más estamos acostumbrados a escuchar en la calle. Pero la realidad es que solo deberíamos hacer sonar la bocina en tres ocasiones. Para evitar accidentes, en situaciones de emergencia, para adelantarse en zonas rurales. El uso excesivo de la bocina genera más contaminación auditiva que mensajes relevantes. Ya sea como peatón o como conductor, las personas con frecuencia se sienten abrumados y ensordecidos por ese incesante sonido que invade las calles. Esto tiene su explicación. Una bocina suena a 90 decibeles, lo que supera los 65 dB considerados como el nivel de exposición al ruido más alto recomendado, según la Organización Mundial de la Salud. (Industrial and Commercial Bank of China, 2012)

La Federación de Asociaciones Municipales de Bolivia (FAM-BOLIVIA), Realizó comparaciones y mediciones en diferentes zonas en la ciudad de La Paz y se comprobó que en la plaza Pérez Velasco y la calle Evaristo Valle hay problemas por las bocinas de los automóviles. La encuesta refleja que los elementos que más ruido y contaminación acústica causan a los ciudadanos son: Las bocinas de los autos, el escape de las motocicletas, las alarmas de los vehículos y el sonido del avión al llegar. (FAM-BOLIVIA, 2016)

El medio televisivo de información ATB transmitió un reportaje sobre la campaña de “El día del no bocinazo” por la salud auditiva de la población, realizado por el Gobierno Municipal de La Paz, el cual nos da un informe sobre la contaminación acústica provocada

por bocinas. La campaña de concienciación sobre el correcto uso de bocinas, que se ejecutó en puntos estratégicos, evidenció el rechazo absoluto de los transeúntes no solo sobre el uso excesivo del mismo, sino de los altos niveles de presión sonora que emiten. (ATB Digital, 2014)

En nuestras ciudades muchos conductores desconocen el daño que puede ocasionar la bocina a las personas que se encuentran cerca del motorizado que emite el sonido, utilizándola en todo tipo de circunstancias, a saber: para atraer pasajeros en las principales avenidas, pretender mejorar el tráfico vehicular cuando existe congestionamiento o bloqueos, para hacer abrir garajes, para saludar a un casual amigo e incluso para admirar (piropear) a una dama, cuando su verdadero objetivo es de alerta sonora<sup>1</sup>. (El Diario, 2018)

Artículo 65°.- (Características de la bocina) Los vehículos estarán provistos de bocina de sonido grave, siendo prohibido el uso de sirenas, vibradoras, claxon y en general de todo aparato que produzca sonido agudo, múltiple y prolongado. El uso de sirenas será permitido únicamente en los vehículos policiales, ambulancias y bomberos<sup>2</sup>. (Reglamento del Código de Tránsito, 1978)

Los elementos que revisan los técnicos en la inspección vehicular son:

- 1.- Sistema eléctrico: control de luces delanteras y traseras, control de luces de stop (freno), control de luces de retro, control de luces guiñadores (parqueo) y control de limpiaparabrisas
- 2.- Sistema de dirección: Juego de volante, control de muñones de suspensión y de dirección
- 3.- Sistema mecánico: control de freno de mano, control de fugas

---

<sup>1</sup> EL DIARIO *La Bocina y Seguridad Vial* Pág. 1 Año 2018 Opinión

<sup>2</sup> PORTAL JURIDICO *Reglamento del Código de Tránsito* Pág. 13 Año 1978 Lex ivox La Paz Bolivia

4.- Revisión de las placas de control

5.- Requisitos documentarios

6.- Acondicionamiento: que no tenga vidrios polarizados, espejos retrovisores, interiores y exteriores

7.- Accesorios de emergencia: gata, llave cruz, rueda de auxilio, botiquín de primeros auxilios, extintor, triangulo de seguridad

8.- Sistema de rodados y otros: profundidad de neumáticos y control de humo de escape. (Inspección Técnica Vehicular, 2019)

Según los párrafos anteriores los cuales evidencian una falta de control y regulación de los niveles de presión sonora de la bocina en el área urbana del Municipio La Paz, surge la necesidad de estructurar una metodología de regulación, el cual pueda controlar y normar niveles necesarios para su empleo, estableciendo de esta manera una alternativa de solución al ruido ambiental.

## **1.1 Justificación**

**1.1.1 Justificación académica.** El profesional Ingeniero de Sonido tiene como finalidad, dentro de las competencias de la investigación, de contribuir al desarrollo de métodos y protocolos que faciliten la creación de planes de gestión ambiental a favor de la población, es de esa manera que el presente tema de investigación, pretende identificar el tipo de bocina idóneo que puede ser empleado en los vehículos que transitan en el área urbana de la ciudad de La Paz. Esta investigación nos permitirá aplicar los conocimientos adquiridos en Acústica, Electroacústica y Control de Ruido, en términos generales, todos los conocimientos obtenidos durante nuestra estancia en la carrera.

**1.1.2 Justificación ambiental.** La presente investigación se enfocará en estudiar la contaminación acústica que producen las bocinas y la falta de regulación de los niveles de presión sonora que estos emiten, ya que debido al alto crecimiento del parque automotor y la topografía accidentada que presenta la zona urbana de la ciudad de La Paz, las bocinas generan grandes cantidades de contaminación acústica.

La contaminación acústica es uno de los problemas ambientales que va en constante crecimiento, paralelamente al crecimiento poblacional, de tal manera que cualquier acción de investigación que aporte para su control, reducción o concientización, es fundamental para un futuro sostenible y una mejor calidad de vida para toda la población.

**1.1.3 Justificación social.** La elaboración de la metodología de regulación de los niveles de presión sonora de la bocina, beneficiará directamente a la inspección técnica vehicular que realiza la Unidad de Transito. De la misma forma también beneficiará a la Alcaldía Municipal de La Paz, estableciendo una alternativa de control para las bocinas de vehículos.

Los efectos nocivos del ruido sobre la salud son demostrados científicamente y así mismo publicados en informes de organismos como la OMS, los cuales mencionan problemas como: problemas auditivos, problemas psicológicos, problemas fisiológicos, alteraciones del sueño y descanso, respuestas hormonales nerviosas, etc. Es de esta manera que el desarrollo del presente proyecto busca reducir los riesgos de daños sobre la salud de las personas y mejorar la calidad de vida.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

La fuente de ruido ambiental más recurrente que se puede notar en las calles y avenidas de la ciudad de La Paz es el “tráfico vehicular”, pero es considerado como uno de los más ruidosos la “bocina”, especialmente los días laborales que es cuando una gran cantidad de transportistas y transeúntes circulan en el centro Paceño, generando embotellamientos, riñas entre conductores, y como consecuencia bocinazos incesantes.

El nivel de presión sonora que emiten estos dispositivos llega a alcanzar hasta los 120 dB, según la Organización Mundial de la Salud, alrededor de este nivel es considerado como dañino a la audición humana.

Las diferentes campañas realizadas por la Dirección Municipal de Gestión Ambiental y la Dirección Nacional de Tránsito, Transporte y Seguridad Vial, no han podido resolver por completo el problema del mal uso de la bocina, así mismo ignoran la necesidad de controlar y regular los niveles de presión sonora que emiten estos dispositivos, dichos controles no están en la ficha técnica de la inspección vehicular. Por lo cual surge la necesidad de buscar alternativas de solución al problema e identificar el tipo de bocina idóneo que puede ser empleado en los vehículos de transporte público.

En la emisión de ruido de las bocinas dentro de una congestión vehicular, se puede detectar que las características técnicas de la bocina, como ser el tono, el volumen y el sonido, no son reguladas por la Alcaldía Municipal de La Paz ni tampoco por la Policía Nacional de Tránsito, lo cual evidencia la falta de una metodología de regulación para estos dispositivos sonoros.

¿Como se podría estandarizar los niveles de presión sonora de la bocina en los vehículos del Sindicato de Transporte Ciudad Satélite?

### 1.3 Objetivos

**1.3.1 Objetivo general.** Proponer una metodología de regulación de la bocina para estandarizar los niveles de presión sonora en el Sindicato de Transporte Ciudad Satélite.

#### 1.3.2 Objetivos específicos.

- Identificar las bocinas de acuerdo a la marca de vehículos del transporte público del Sindicato Ciudad Satélite.
- Medir los niveles de presión sonora de las bocinas en los vehículos seleccionados a partir del Reglamento de Gestión Ambiental del Municipio de La Paz.
- Elaborar la metodología de regulación según los datos obtenidos.

### 1.4 Delimitaciones de Estudio

**1.4.1 Delimitación temporal.** El presente proyecto se desarrollo a partir de Julio hasta octubre del 2020.

**1.4.2 Delimitación espacial.** La presente investigación se realizó en la parada de minibuses del Sindicato de transporte público Ciudad Satélite, ubicado en la plaza Torres de la Ciudad de La Paz – El Alto.

#### 1.4.3 Delimitación financiera.

PRESUPUESTO			
Actividad a realizar	Cantidad	Precio Unitario Bs.	Monto Total Bs.
Adquisición de Sonómetro	1 unidad	689	689
Calibración del sonómetro	1 unidad	550	550
Compra de bocinas	3 unidades	40	120
Transporte y llamadas	4 semanas	10	200
Computadora	1 unidad	3300	3300
Material de escritorio	1 conjunto	100	100
TOTAL			4959

# CAPÍTULO

## II

## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1 Marco Conceptual

#### 2.1.1 Física del sonido.

**2.1.1.1 Propagación del sonido.** El sonido se propaga en el aire como las ondas en el agua. En campo libre, al doblarse la distancia, la amplitud de la onda se reduce a la mitad, con lo que el nivel de presión sonora disminuye en 6 dB.

Si hay un obstáculo en el camino del sonido, parte se absorbe, parte se refleja y parte se transmite. La cantidad que se absorbe, refleja y transmite depende de las características acústicas del objeto, de su tamaño y de la longitud de onda del sonido. (Universidad de Granada, 2014, pág. 10)

El sonido percibido por el oído se produce por las fluctuaciones en la presión del aire. Estas fluctuaciones normalmente son iniciadas por una superficie u objeto que está vibrando, tal como la envoltura de una máquina o por el flujo de aire, como por ejemplo el escape de aire comprimido. El sonido es generado por un diapasón. Como cada molécula se pone a vibrar, empuja contra la molécula adyacente; es decir, el aire se comprime, y entonces se pone a vibrar la próxima molécula. De esta manera la onda de sonido se transmite por el aire. Ya que la dirección de movimiento de las moléculas de aire es la misma que la dirección del movimiento del frente de la onda, es una onda longitudinal. Esta es distinta que la onda en el agua, donde las moléculas de agua se mueven hacia arriba y abajo en ángulos rectos a la propagación de la onda del agua, que es una onda transversal. Para facilitar la presentación, la onda de sonido por el aire normalmente se dibuja como una onda sinusoidal, como se puede ver en el (Anexo 2).

**2.1.1.2 Propiedades del sonido.** Las propiedades de las ondas de sonido se caracterizan por la frecuencia, longitud de onda, fase, amplitud y velocidad. La Amplitud y

Fase se muestran en el (Anexo 3) y se describen a continuación para una onda sinusoidal simple<sup>3</sup>.

*2.1.1.2.1 Amplitud.* Es la máxima variación en la presión, por encima y por debajo de la presión ambiental o atmosférica. A mayor amplitud, mayor o más fuerte será el nivel de sonido.

*2.1.1.2.2 Fase.* La fase (T) es el tiempo que lleva para cumplir un ciclo completo; es proporcional a la frecuencia.

*2.1.1.2.3 Frecuencia.* La *frecuencia* (f) de sonido es el número de veces por segundo que una onda completa pasa por un punto. El número de ciclos por segundo se llama Hertzio (Hz).

La fase y la frecuencia están relacionadas simplemente por la siguiente ecuación:

$$T = 1/f \text{ (segundos)}$$

*2.1.1.2.4 Velocidad.* La velocidad (c) del sonido en el aire está gobernada por la densidad y la presión del aire, que a su vez están relacionados con la temperatura y la elevación sobre el nivel del mar. La velocidad del sonido en el aire es aproximadamente 343 m/s. Así, el sonido viaja como un kilómetro en 3 segundos. (Miyara, Introducción a la Acústica, 2006, pág. 4)

*2.1.1.2.5 Longitud de onda.* La longitud de onda ( $\lambda$ ) es la longitud de un ciclo completo y se mide en metros (m). Se relaciona con la frecuencia (f) y la velocidad del sonido (c) por la siguiente fórmula:

$$\text{Longitud de onda } (\lambda) = c/f \text{ metros}$$

---

<sup>3</sup> MIYARA, Federico. *Introducción a la Acústica*, Argentina, UNR, 2006.

En la Tabla 1 se muestra la relación entre la longitud de onda y la frecuencia. Cabe destacar que cuanto mayor sea la frecuencia, más corta será la longitud de onda; o inversamente, cuanto menor sea la frecuencia más larga será la longitud de onda. Esto es importante al seleccionar las medidas adecuadas de control del ruido. (Ruido Ambiental, 2005, pág. 4)

Tabla 1  
*Longitud de onda en el aire en  
condiciones atmosféricas estándares*

<b>Frecuencia</b>	<b>Longitud de Onda</b>
100 Hz	3,44 m
1000 Hz	0,34 m
1,000 Hz	34,4 mm
10,000 Hz	3,4 mm

Si se aumenta el volumen de un generador de tono, se aumenta la amplitud de la presión de sonido y el sonido aumenta. Por lo tanto, la amplitud es una medida conveniente de la magnitud del sonido y puede estar relacionada con su intensidad, volumen y en última instancia, el efecto que tiene sobre el oído humano.

Al considerar la forma de la onda, que se muestra en el (Anexo 4), hay varias opciones para determinar la amplitud. El valor tope ocurre solamente por un muy breve tiempo y por lo tanto puede que no se relacione muy estrechamente con la impresión subjetiva del sonido. Aunque un promedio puede ser más adecuado, debido a la forma simétrica de la onda de presión, el número de veces que la amplitud es positiva es igual al número de veces que la amplitud es negativa, así el promedio resultante es cero. Necesitamos un “promedio” que tome en cuenta la magnitud de las fluctuaciones en la presión de sonido, pero no su dirección

(positiva y negativa). La manera más comúnmente usada es la presión de sonido de la raíz cuadrada media de los valores (o RMS en inglés)<sup>4</sup>. (Miyara, 2006, pág. 15)

En efecto, la señal es primero "al cuadrado", es decir, que se multiplica por sí misma. Esto tiene el efecto de producir una presión de forma de onda al cuadrado, la que siempre es positiva. La etapa siguiente consiste en tomar el promedio (o valor de la media) de esta presión de forma de onda al cuadrado, llamada el "cuadrado medio de presión". Por último, tomando la raíz cuadrada de este valor, volvemos a una presión, la presión media de la raíz cuadrada (estrictamente la raíz cuadrada de la presión media al cuadrado) se refiere a la presión RMS.

### ***2.1.1.3 Presión, potencia e intensidad de sonido.***

*2.1.1.3.1 Potencia de sonido.* La potencia de sonido se define como la energía total de sonido generada por la fuente por unidad de tiempo. La potencia de sonido se expresa en unidades de watios (W). Cabe tener presente que para todas las situaciones prácticas la potencia de sonido generada por la fuente es constante, independiente de su ubicación (es decir, dentro versus fuera). A la inversa, la intensidad de sonido y la presión de sonido cambian en base al ambiente en que se ubica. (Miyara, 2006, pág. 19)

*2.1.1.3.2 Intensidad de sonido.* Se define como la potencia de sonido por unidad de área (watios/m<sup>2</sup>). La intensidad de sonido es una cantidad vector; es decir, se especifica por dirección. El sonido que se origina en un punto irradia la potencia de sonido uniformemente en todas direcciones, asumiendo que no hay superficies reflectoras presentes. Mientras se disemina el poder esféricamente desde su fuente, el área de superficie aumenta y por lo tanto la potencia por unidad de área disminuye. El total de la potencia sigue siendo el mismo, pero

---

<sup>4</sup> MIYARA, Federico. *Introducción a la Acústica*, Argentina, UNR, 2006.

el área que engloba está aumentando, lo que produce una reducción de la intensidad de sonido. Esto se conoce como la ley de la inversa de los cuadrados.

El área de superficie de la esfera =  $4\pi r^2$

A 1 metro de la fuente,  $r=1$  y la potencia se disemina por una esfera con un área de superficie de  $4\pi \times 1$ .

A 2 metros,  $r=2$  y la superficie de la esfera será  $4\pi \times 4$ ; es decir, 4 veces más grande.

A 3 metros la superficie será  $3^2 = 9$  veces más grande, por lo tanto, a medida que aumenta la distancia de la fuente, la energía por unidad de área disminuye. (Miyara, 2006, pág. 20)

*2.1.1.3.3 Presión de sonido.* La variación de la presión superpuesta en la presión atmosférica dentro del rango sónico se llama la presión de sonido. La presión de sonido se expresa como una fuerza por unidad de área y la unidad que se prefiere usar es el Pascal (Pa). Cabe tener presente que la presión de sonido es el “efecto” de una perturbación. La “causa” verdadera de la perturbación y el efecto de reacción que se produce se debe a la fuerza de impulso o la potencia de sonido. (Miyara, 2006, pág. 20)

#### ***2.1.1.4 Niveles y decibelios.***

*2.1.1.4.1 La escala de decibelios y el uso de niveles.* La intensidad de sonido más débil que una persona con audición sensible puede detectar es alrededor de  $0,000,000,000,001$  watio/m<sup>2</sup>, mientras la intensidad de sonido producida por un cohete Saturno en el despegue es de más de  $100.000,000$  watio/m<sup>2</sup>. Esto es un rango de  $100.000.000.000.000.000.000$ . Es un rango extremadamente grande de valores. El oído humano no responde de manera lineal sino más bien de manera logarítmica. Al aplicar logaritmos 1 y un valor de referencia, se forma una nueva escala de medida tal que un aumento de 1,0 representa un aumento diez veces mayor en la relación, que también se llama

un aumento de 1,0 Bel. El termino Bel fue nombrado por Bell Laboratories en honor a Alexander Graham Bell. La aplicación de logaritmos ha evolucionado al uso de 10 subdivisiones de un valor log, o 1/10 de un Bel, que es el término con que podría estar familiarizado: decibelios (10 dB = 1 Bel). El decibelio se abrevia como dB y es una cantidad sin dimensiones, independientemente del sistema de unidades que se utilice. La escala dB está relacionada con la manera que el oído humano responde al sonido, ya que un cambio de 1 dB de nivel es una diferencia apenas perceptible bajo condiciones ideales para escuchar<sup>5</sup>. (Miyara, 2006, pág. 22)

Para un sonido en el aire, la expresión para cada propiedad acústica son las siguientes:

Nivel de Intensidad Sonora:

*Fórmula 1 Nivel de Intensidad sonora*

$$L_I = 10 \log \left( \frac{I}{I_{ref}} \right), \text{ dB}$$

Nivel de Potencia Sonora:

*Fórmula 2 Nivel de Potencia Sonora*

$$L_W = 10 \log \left( \frac{W}{W_{ref}} \right), \text{ dB}$$

Nivel de Presión Sonora:

*Fórmula 3 Nivel de Presión Sonora*

$$L_p = 10 \log \left( \frac{p^2}{p_{ref}^2} \right) = 20 \log \left( \frac{p}{p_{ref}} \right), \text{ dB}$$

La “L” en cada expresión significa “Nivel,” y los términos I, W, y p representan intensidad, potencia y presión, respectivamente. Muchas veces los términos LW y Lp se abrevian como PWL y SPL, respectivamente. Las cantidades de referencia también están

---

<sup>5</sup> MIYARA, Federico. *Introducción a la Acústica*, Argentina, UNR, 2006.

relacionadas con la audición humana ya que corresponden nominalmente al umbral de la audición a 1000 Hz:

$$\text{Intensidad de referencia } (I_{ref}) = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$\text{Potencia de referencia } (W_{ref}) = 10^{-12} \text{ W}$$

$$\text{Presión de referencia } (p_{ref}) = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2, \text{ o } 20 \mu\text{Pa}$$

Se debe tomar en cuenta que la potencia de sonido se propaga en forma de fluctuaciones de presión en el aire y el valor de la raíz cuadrada de la media de los cuadrados (rms) de la Intensidad es:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \text{ (donde } r \text{ es la distancia de la fuente)}$$

Se determinan las fluctuaciones de presión por:

$$I = \frac{p^2}{\rho c} \text{ (donde } \rho \text{ es la densidad del aire y } c \text{ es la velocidad del sonido)}$$

Por lo tanto, se pueden relacionar las dos expresiones y representarlas de la siguiente manera:

$$p^2 = \frac{W\rho c}{4\pi r^2}$$

Esto ilustra que  $p^2$  es inversamente proporcional a  $r^2$  (distancia). Esto es un factor importante al estimar el nivel del ruido a una distancia de la fuente de sonido.

*2.1.1.4.2 Niveles de sonido comunes.* En el Anexo 7 se presenta una comparación de los decibelios, la potencia de sonido y la presión de sonido.

*2.1.1.4.3 Cuantificar niveles de sonido.* Este punto simplemente cuantifica cómo el oído humano subjetivamente evalúa los cambios relativos en la intensidad del sonido. Un cambio de 1 dB es apenas perceptible a alguien con una agudeza muy buena de audición. Sin embargo, el oído no responde en forma lineal a los cambios en el nivel de sonido. Por

ejemplo, una diferencia de 3 dB sería apenas perceptible para el oyente promedio, un cambio de 5 dB sería claramente notorio y un incremento de 10 dB típicamente se percibiría como dos veces más fuerte. El estudio de la percepción humana al sonido es complejo y con frecuencia se refiere a ello como la psicoacústica. (Ruido Ambiental, 2005, pág. 12)

*2.1.1.4.4 Suma, resta y promedio de decibelios.* El ambiente de ruido en el lugar de trabajo muchas veces consiste en más de una fuente de ruido. Por lo tanto, es importante entender cómo el nivel de ruido en general varía cuando se agregan o se retiran equipos. También, cuando se necesita, es útil saber cómo sacar un promedio de los sonidos o hacer mediciones de múltiples sonidos, ya que la exposición al ruido en el lugar de trabajo casi nunca es constante a lo largo del día.

Debido a que los niveles son valores logarítmicos, no es posible sumar y restarlos aritméticamente. Solo se puede manipular las cantidades físicas subyacentes. Ya que los niveles están representados por expresiones logarítmicas, es necesario tomar el antilogaritmo de cada nivel para determinar la intensidad acústica verdadera. Este cálculo es un procedimiento bastante simple que consiste en usar una hoja de cálculo con las fórmulas logarítmicas incorporadas. Sin embargo, antes de tratar de usar una hoja de cálculo, es importante entender cómo se generan estas cantidades y aprender métodos alternativos para manipular los decibelios<sup>6</sup>. (Ruido Ambiental, 2005, pág. 10)

**a) Suma de decibelios.**

La expresión para sumar dos o más niveles de presión sonora no relacionados es la siguiente:

---

<sup>6</sup> SICA, Sistema de Información sobre Contaminación Acústica. *Conceptos básicos de Ruido Ambiental*, Sica, 2005.

*Fórmula 4 Suma de decibelios*

$$L_{pt} = 10 \log \left( \sum_{i=1}^n 10^{L_{pi}/10} \right), \quad dB$$

Donde,

$L_{pt}$ =nivel de presión sonora total, dB

$L_{pi}$ =cada nivel de presión sonora individual ( $i^{th}$ ) SPL, dB

n =el número total de valores o niveles

Para sumar multiples niveles de potencia de sonido, sigue el mismo formato:

$$L_{Wt} = 10 \log \left( \sum_{i=1}^n 10^{L_{wi}/10} \right), \quad dB$$

Donde,

$L_{Wt}$ =nivel de potencia sonora total, dB

$L_{wi}$ =cada nivel de potencia sonora individual ( $i^{th}$ ), dB

n= el número total de valores o niveles

## **b) Promediar decibelios.**

A veces es útil promediar los decibelios, especialmente para mediciones repetidas que se realizan en la misma posición con el tiempo. La siguiente es la fórmula para promediar los niveles de presión sonora medidos:

*Fórmula 5 Promedio de decibelios*

$$\bar{L}_p = 10 \log \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n 10^{L_{pi}/10} \right), \quad dB$$

Donde,

$\bar{L}_p$ =nivel de presión sonora promedio, dB

$L_{pi}$ =cada nivel de presión sonora individual ( $i^{th}$ ), dB

n=el número total de valores o niveles

2.1.1.4.5 *Direccionalidad de fuentes de sonido.* No todas las fuentes de sonido irradian el sonido uniformemente en todas direcciones. A esto se refiere como la direccionalidad de la fuente. Además, la ubicación de una fuente puede afectar el nivel y la distribución del sonido. El sonido adicional que se refleja de una fuente que está puesta contra una superficie reflectante, como un piso duro, puede llevar a un aumento de 3 dB en el nivel de sonido. La misma fuente ubicada cerca de 2 superficies reflectantes podría ser 6 dB mayor y en un rincón con 3 superficies reflectantes podría ser 9 dB mayor. En el (Anexo 8) se muestra esto gráficamente para fuentes irradiadoras que son netamente esféricas y la Tabla 2 muestra la relación entre el factor de direccionalidad y el índice de direccionalidad, que está en dB. En la práctica, el aumento del nivel no es tanto como estos valores teóricos. (Estelles & Fernandez, 2007, pág. 3)

Tabla 2  
*Comparación del Factor de Direccionalidad e Índice de Direccionalidad*

<b>Ubicación de la fuente</b>	<b>Factor de direccionalidad, Q</b>	<b>Índice de direccionalidad (dB)</b>
Suspendido en el espacio	1	0
Sobre el piso de una sala grande	2	3
En la intersección de una pared y el piso	4	6
En el rincón de una sala	8	9

2.1.1.4.6 *Características de la frecuencia de sonido.* La frecuencia de sonido es el número de veces por segundo que una perturbación pasa por sus desviaciones tanto positivas como negativas en relación a la presión atmosférica, expresada en unidades de Hz. Los sonidos en el lugar de trabajo invariablemente consisten en un amplio espectro de frecuencias

que puede dividirse en anchos de banda más pequeños para ayudar en el análisis para la evaluación de riesgos, control del ruido, evaluación de protección auditiva, etc. Para este propósito, el sonómetro podría tener un set de filtros para medir los anchos de banda seleccionados o se puede usar un analizador de frecuencia. El ancho de banda más común para medir el ruido es la banda de octava<sup>7</sup>.

Una **banda de octava** se define como un rango o banda de frecuencias donde la frecuencia del extremo superior,  $f_2$ , es dos veces aquella del extremo inferior,  $f_1$ :

$$f_2 = 2f_1, \quad Hz$$

Muchas veces las octavas completas se expresan como bandas de octava 1/1, aunque también se observa en la literatura referencias a octavas completas simplemente como “bandas de octava” donde se supone la relación de 1/1.

Muchas veces, especialmente para efectos del control del ruido, se requiere una definición más detallada de las características de frecuencia de sonido. En estas instancias, la medida más común consiste en subdividir la octava completa en tercios, que se llaman banda de 1/3 octava. Aquí, el borde superior de la banda,  $f_2$  es la raíz cubica del doble del borde inferior de la banda,  $f_1$ :

$$f_2 = \sqrt[3]{2f_1}, \quad Hz$$

Cada rango de frecuencias tiene una frecuencia de centro,  $f_c$ , que es igual a la media geométrica de las frecuencias de los bordes superior e inferior de la banda:

$$f_c = \sqrt{f_1 f_2}, \quad Hz$$

Los analizadores estándares de bandas de octava y de tercios de octava se conocen como filtros de ancho de banda constante. A medida que aumenta la frecuencia del centro, aumenta

---

<sup>7</sup> MIYARA, Federico. *Introducción a la Psicoacústica*, Argentina, UNR, 2003.

el ancho de cada banda de frecuencia. Por otro lado, los analizadores de banda estrecha utilizan un filtro constante de ancho de banda, seleccionado por el usuario. El análisis de banda estrecha se aplica principalmente a la medición avanzada para el control del ruido o para la evaluación de fuentes específicas de sonidos, tales como alarmas de emergencia. (Miyara, Introducción a la Psicoacústica, 2003, pág. 29)

*2.1.1.4.7 Niveles de sonido ponderados.* Según se analizará en la sección sobre la audición humana, el oído no responde igualmente a todas las frecuencias. Por lo tanto, para las mediciones relacionadas con la respuesta humana es necesario incluir un filtro en el proceso de medición que sea similar a la respuesta en frecuencia del oído humano. Se ha diseñado el filtro de ponderación A para tener una respuesta en frecuencia que sea similar al oído y las mediciones que se hacen con este filtro, se expresan como dBA. La legislación para la exposición a la mayoría de los ruidos ocupacionales está en términos del nivel sonoro con ponderación A.

La escala de ponderación A se obtiene más fácilmente al medirlo con un sonómetro fijado en la red de filtros de frecuencia con ponderación A. Esencialmente, los niveles de presión sonora con ponderación A reducen el peso de las frecuencias más bajas a 500 Hz o menos. Cuanto más baja es la frecuencia, mayor será el factor de corrección con ponderación A (ver la Tabla 3 y el Anexo 9). A la inversa, las frecuencias de medianas a altas, desde 2.000 a 4.000 Hz tienen un leve aumento en la magnitud general, ya que en estas frecuencias se agregan 1,2 y 1,0 decibelios a los niveles de presión sonora lineales y de nuevo se reducen las frecuencias muy altas mientras se extienden más allá de la audición normal. (Miyara, Introducción a la Psicoacústica, 2003, pág. 29)

Otra escala de ponderación que se utiliza en la evaluación del ruido en el lugar de trabajo, principalmente con respecto a la evaluación de los ruidos de impulsos y para la protección

de la audición, es el nivel con ponderación C, expresado en dBC. Igual que con los dBA, los valores de corrección de la escala de ponderación C se aplican a los niveles de presión sonora lineales por frecuencia y luego se suman todos los datos logarítmicamente para determinar un nivel de dBC en su conjunto. Los valores de corrección por frecuencia de la escala de ponderación C se presentan en la Tabla 3, que muestra una declinación sucesiva que es significativamente menor en las bajas frecuencias relativa a los valores de corrección con ponderación A. En efecto, a menos que haya energía de sonido presente que sea menor a 25 Hz o mayor que 10.000 Hz, el resultado en cuanto a dBC total debe ser igual o muy cerca al nivel de presión sonora lineal en dB. (Miyara, Introducción a la Psicoacústica, 2003, pág. 29)

Tabla 3

*Valores de banda de octava para las escalas de ponderación A, C y Z*

<b>Frecuencia, Hz</b>	<b>Ponderación A</b>	<b>Ponderación C</b>	<b>Ponderacion Z</b>
16	-56,7	-8,5	
31,5	-39,4	-3,0	
63	-26,2	-0,8	
125	-16,1	-0,2	
250	-8,6	-0,0	
500	-3,2	-0,0	
1000	0	0	Plano
2000	+1,2	-0,2	Desde 10 Hz
4000	+1,0	-0,8	Hasta 20 kHz
8000	-1,1	-3,0	
16000	-6,6	-8,5	

*2.1.1.4.8 El rango humano de audición y la fuerza del sonido.* El rango de audición humana aceptado se extiende desde 20 Hz hasta 20.000 Hz. Pero es un porcentaje relativamente pequeño de la población que verdaderamente puede detectar sonidos en los bordes exteriores de este rango. El umbral de la audición es aquel nivel de presión sonora que es apenas detectado por la persona que escucha (Miyara, 2003, pág. 29). En el (Anexo 10) se muestra los contornos de igual intensidad para condiciones de campo abierto, con el

mínimo campo audible indicado por la línea intermitente. Una inspección de las curvas en el (Anexo 10) indica claramente que la sensibilidad humana es la mayor entre 2.000 y 5.000 HZ<sup>8</sup>. (Miyara, Introducción a la Psicoacústica, 2003, pág. 25)

El Anexo 10 también muestra como la audición humana está en función de la frecuencia y la amplitud de la onda de sonido. Así, un sonido en una frecuencia puede parecer más intenso (o más débil) que un sonido de igual amplitud de presión en una frecuencia distinta.

#### *2.1.1.4.9 Relación entre el nivel de presión de sonido y el nivel de potencia de sonido.*

El nivel de presión sonora ó acústica (SPL) y el nivel de potencia acústica (PWL) están relacionados según la ecuación:

*Fórmula 6 Relación entre el SPL y el PWL*

$$L_p = L_w + k, \text{ dB}$$

donde,

$L_p$  = es el nivel de presión sonora (SPL) en dB,

$L_w$  = es el nivel de potencia sonora (PWL) en dB

$K$  = es un factor constante que depende de las acústicas del ambiente, la direccionalidad de la fuente y la distancia de la fuente.

La manera más fácil de explicar las diferencias entre la presión sonora y la potencia sonora es considerar la siguiente analogía. Digamos que ponemos una bombilla de 100 watios en el centro de una sala que está pintada completamente con una pintura color negro opaco, incluyendo el suelo. La iluminación en la sala parecerá algo débil o sombría al compararse con una luz idéntica en una segunda sala que está cubierta completamente de pintura blanca de acabado brillante. Según se puede imaginar, la sala blanca estará significativamente más

---

<sup>8</sup> MIYARA, Federico. *Introducción a la Psicoacústica*, Argentina, UNR, 2003.

iluminada. No ha cambiado nada con respecto a la energía que sale de la bombilla. Solo las condiciones ambientales (la sala) han cambiado.

Lo mismo ocurre con el sonido. Recordemos que el nivel de presión sonora (SPL) es el efecto (lo que oímos) de una perturbación de la presión y el nivel de potencia sonora es la causa de la perturbación.

Por lo tanto, siguiendo el concepto descrito en la analogía de la bombilla, supongamos que usted tiene una máquina con un nivel de potencia de sonido nominal de 90 dB y la coloca en una pequeña sala donde tanto el piso como el techo son de cemento y las paredes son de ladrillo; el nivel de presión sonora (SPL) que oímos podría ser hasta 110 dB debido a la reflexión y acumulación de energía de sonido dentro de la sala. A la inversa, si tomamos la misma máquina de 90 dB y la colocamos fuera en el suelo, el nivel de presión de sonora (SPL) podría ser solo del orden de 92 dB. Cabe hacer notar que el nivel de potencia sonora (PWL) es idéntico en ambos escenarios, pero el efecto es considerablemente distinto. Esto se debe a las diferencias en el ambiente (factor  $k$ ) que se combinan con el nivel de potencia sonora (PWL) para producir un cierto nivel de presión sonora (SPL).

**2.1.2 Ruido.** El ruido puede definirse como cualquier sonido que sea calificado como desagradable por quien lo escucha. El problema con el ruido no es únicamente que sea no deseado, sino también que afecta negativamente la salud y el bienestar humano. Es generado por fuentes de ruido, las cuales pueden clasificarse en fijas, móviles y colectivas. (Miyara, Ruido Urbano, 2004, pág. 1)

**2.1.2.1 *Apreciación objetiva.*** El sonido en un sentido físico, constituye la propagación de energía (sonora) por un movimiento ondulatorio en un medio elástico. (Ramírez Gonzáles, Domínguez, & Efraín, 2011)

**2.1.2.2 *Apreciación subjetiva.*** El ruido se define como una combinación desordenada de sonidos que produce una sensación desagradable, molesta e indeseable para las personas que lo escuchan, y no existe una diferencia objetiva física medible que disocie al sonido del ruido. Las personas responden de forma distinta ante una misma fuente sonora, lo que le confiere características de representación variable, e incluso tales representaciones pueden modificarse a lo largo de la vida de las personas o durante un mismo día según las actividades en desarrollo<sup>9</sup>. (Ramírez González, 2011)

**2.1.3 *Contaminación acústica.*** La contaminación acústica se define como la presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente. Los primeros que desarrollaron ordenanzas contra el ruido fueron los Ayuntamientos. Posteriormente, algunas Comunidades Autónomas promulgaron leyes para que sirvieran de marco general. Finalmente, el Gobierno se vio obligado a unificar una legislación caótica siguiendo además directivas de la Unión Europea (Directiva sobre Ruido Ambiental 2002/49/CE). Esta norma requiere a los países localizar las zonas de alta contaminación acústica y reducir sus niveles, sin especificar valores límite. (Madrid), 2015)

**2.1.4 *Niveles de presión sonora.*** El hecho de que la relación entre la presión sonora del sonido más intenso (cuando la sensación de sonido pasa a ser de dolor auditivo) y la del sonido más débil sea de al rededor de 1.000.000 ha llevado a adoptar una escala comprimida denominada escala logarítmica.

---

<sup>9</sup> GONZALES, Alberto. *El ruido vehicular urbano: problemática agobiante de los países en vías de desarrollo*, Colombia, 2011.

Debido al rango extraordinariamente amplio de la presión sonora, resulta conveniente utilizar una escala logarítmica para expresar sus valores. Así, se define el nivel de presión sonora,

$$L_p = 20 \log_{10} \left( \frac{P_{ef}}{P_{ref}} \right), \quad Pa$$

Donde:

$P_{ef}$  = es el valor eficaz de la presión sonora

$P_{ref}$  = es la presión de referencia, que vale

$$P_{ref} = 20 \times 10^{-6} Pa.$$

El nivel de presión sonora se expresa en decibeles, unidad abreviada dB. Un incremento de 1 dB no representa un incremento fijo de la presión sino un aumento relativo de aproximadamente 12,2%.

El valor de  $P_{ref}$  se ha elegido porque coincide con el umbral de audición normal para 1 kHz, lo cual implica que un sonido de 1 kHz se puede percibir, en promedio, cuando  $L_p > 0$  dB. En la Tabla 4 se dan valores típicos de la presión eficaz sonora y del  $L_p$  para algunos sonidos habituales.

Tabla 4  
*Presión eficaz sonora y nivel de presión sonora para algunas fuentes sonoras, ambientes y situaciones acústicas típicas*

<b>Fuente</b>	<b><math>P_{ef}</math> (Pa)</b>	<b><math>L_p</math> (dB)</b>
Umbral del dolor	20	120
Discoteca a todo volumen	6,3	110
Martillo neumático a 2 m	3,6	105
Ambiente industrial ruidoso	0,63	90
Piano a 1 m con fuerza media	0,20	80

Automóvil silencioso a 2 m	0,063	70
Conversación normal	0,020	60
Ruido urbano de noche	0,0063	50
Habitación interior (día)	0,0020	40
Habitación interior (noche)	0,00063	30
Estudio de grabación	0,00020	20
Cámara sonoamortiguada	0,000063	10
Umbral de audiencia a 1 kHz	0,000020	0

Si bien el transductor básico utilizado en los sonómetros o medidores de nivel sonoro, es decir, el micrófono, produce una tensión eléctrica proporcional a la presión sonora, en la práctica la medición siempre se expresa en decibeles. Si se requiere conocer el valor de la presión eficaz sonora propiamente dicha, debe despejarse de la definición:

$$P_{ef} = P_{ref} 10^{\frac{L_p}{20}}, \quad Pa.$$

**2.1.5 Mediciones acústicas.** Para una evaluación más completa de un fenómeno sonoro, es necesario contemplar ambos aspectos: frecuencia y tiempo. El aspecto de la frecuencia puede ser tenido en cuenta intercalando diversos tipos de filtros entre la señal sonora detectada primariamente por el micrófono y el indicador final del instrumento de medición. Dichos filtros encuadran normalmente en dos grandes clases:

- a) Filtros de banda (de octava, de tercio de octava, de ancho de banda fijo, etc.).
- b) Redes de compensación (A, C, etc.).

El aspecto temporal, por su parte, se tiene en cuenta por medio del tipo de respuesta temporal del instrumento:

- a) Velocidad dinámica de respuesta (lenta, rápida, impulsiva)

- b) Función promediadora (valor eficaz, pico, dosis, descriptores estadísticos)<sup>10</sup> (Miyara, Ruido Urbano, 2004)

**2.1.5.1 Medidor de nivel sonoro.** El medidor de nivel sonoro, también denominado **sonómetro** o **decibelímetro** es el instrumento de medición acústica más simple, y por esa razón, el más difundido. Está orientado a determinar el nivel sonoro, es decir el nivel de presión sonora con intercalación de una adecuada red de compensación (o ponderación) de frecuencias. En el Anexo 11 se muestra el diagrama de bloques de un medidor de nivel sonoro.

El micrófono toma la presión sonora  $p(t)$  y la convierte en una tensión  $V_m(t)$ , que es amplificada por un amplificador. Luego sigue un atenuador, que permite la selección de escala. Esto es necesario dado que en general el rango dinámico de algunos de los bloques que siguen no es tan alto como el que se pretende para el instrumento completo (por ejemplo, son comunes los medidores que permiten medir desde 30 dBA hasta 130 dBA, lo que corresponde a un rango dinámico de 100 dB). Seguidamente, se tiene un filtro cuya finalidad es realizar la ponderación seleccionada (A, B, C, etc.), cuya salida es tratada por el cuadrador. Luego aparece el filtro pasabajos cuya constante de tiempo, en general seleccionable, permite distintas respuestas temporales del instrumento. A la salida de este filtro se tiene el valor eficaz al cuadrado.

El amplificador logarítmico se encarga de transformar el valor eficaz en dBA, y el indicador presenta el valor medido. En general el indicador es digital, y tiene intercalado un conversor analógico digital. (Menéndez & Garcia, 2007, pág. 7)

---

<sup>10</sup> MIYARA, Federico. *Ruido Urbano*, Argentina, UNR, 2003

## **2.1.6 Bocina.**

**2.1.6.1 Historia.** La bocina surgió como una necesidad para avisar de la presencia de vehículos motorizados, a finales del siglo XIX. Antes de su aparición, los vehículos debían ir precedidos de una persona portando una bandera o, en caso de ser por la noche, una linterna.

Se estudiaron diversas opciones para incluir como señales acústicas de los vehículos. Una de ellas consistía en una campana que sonaba cada vez que las ruedas realizaban un círculo completo. Otros fueron más allá y pretendían acoplar sistemas para lanzar bengalas de aviso.

La bocina de accionamiento manual se transformó en una bocina eléctrica en abril de 1914, cuando Robert Bosch presentó en Alemania la primera patente de bocina eléctrica para coche, la cual vería la luz finalmente en el año 1921. (RUTA 401, 2015)

Las bocinas deben estar adaptadas en intensidad al tamaño y potencia del vehículo. Es decir, no se puede llevar instalada una bocina de tren o camión en un automóvil y viceversa. Las bocinas pueden llegar a alcanzar intensidades de 120 decibelios, aunque deben estar reguladas a 105 dB a una distancia de 7 metros.

No todas las bocinas tienen el mismo sonido. Algunas tienen tonos más graves, otras más agudos y estridentes. Al principio la nota que “tocaban” la mayoría de las bocinas era un “Mi bemol”, sin embargo a partir de los años 60 comenzaron a implantarse bocinas en “Fa sostenido”, que se distinguían mejor entre el creciente tráfico. En España también se denomina claxon; este término se adopta por la marca comercial registrada de bocinas klaxon. (RUTA 401, 2015)

**2.1.6.2 Tipos de bocinas de vehículos.** Hay dos tipos de bocinas para automóviles: electromagnéticas y neumáticas. Estas últimas emiten sonido debido al movimiento de aire que se introduce en un tubo especial de la bomba. El tubo en sí vibra y hace un ruido. La

forma en que funcionan estas bocinas, recuerda a los viejos y alegres “zumbadores” que estaban en carros tirados por caballos y en los primeros carros a vapor. Estas señales de aire son bastante caras, incluso sin importar el diseño y la forma del artículo. Una bocina neumática puede tener varios tubos o solo uno. Sin embargo, la señal será melódica solo si instala un relé de programa adicional con válvulas electromagnéticas que se abrirá y cerrará de acuerdo con el programa correspondiente. La intensidad de la señal que emite una bocina accionada por aire puede alcanzar los 125 dB. El rango de frecuencia del dispositivo se superpone simultáneamente a varias áreas de sonido. La bocina está equipada con varios tubos que producen un tono superior de hasta 800 Hz y uno inferior dentro de los 400 Hz. Sin embargo, para crear tal “orquesta”, es posible que necesite una bomba bastante potente que pueda proporcionar una presión igual a 6-10 atm. Las bocinas accionadas por aire de alta potencia pueden emitir sonidos que se oirán a kilómetros de distancia. Cuando se está en el bosque, eso puede salvar la vida de los animales que tienden a cruzar la calle, así como la de personas descuidadas. En general, las bocinas accionadas por aire son bastante costosas. (Boicnas para Auto, 2019)

**2.1.6.3 Bocinas electromagnéticas.** En las bocinas electromagnéticas, hay una membrana que vibra y que es impulsada por el núcleo. Las bocinas electromagnéticas para automóviles se dividen en varios tipos de acuerdo con el diseño del radiador de sonido:

- **Bocinas de disco** (“placas”) están disponibles en dos configuraciones: plegables y no plegables. Los últimos son más compactos y ocupan poco espacio. Las bocinas de los discos también se dividen en abierto y cerrado según su tipo y si se instalan dentro del capó o al aire libre. Son fáciles de instalar, sin embargo, puede haber una auto-combinación de señales de alta frecuencia (hasta 440 Hz) con un tono regular (hasta

350 Hz). De lo contrario, un dispositivo será de dos tonos a la vez<sup>11</sup>. (RUTA 401, 2015)

- **Las bocinas de disco** (“volutas”) son más difíciles de instalar. Todo radica en la forma curvada de la campana y de la condición de que un extremo abierto de la tubería debe ir hacia adelante. Además, estos modelos son más grandes en tamaño. La potencia de señal de estos dispositivos puede alcanzar 118 dB a la frecuencia de 510 Hz. Las llamadas “volutas” ayudan a obtener una señal más que fuerte para que incluso sienta presión en el tímpano. Las también llamadas bocinas “fonográficas” a menudo están disponibles en una configuración de dos tonos, sin embargo, adicionalmente pueden equiparse con un relé que transmitirá la tensión a ambas bobinas por turnos y, como resultado, se reproducirá una melodía específica. (RUTA 401, 2015)
- **Bocinas de disco “trompeta”**. En este caso, un proyector parece una “voluta” alargada que se parece a una bocina o una tubería. Estos elementos son más fáciles de instalar, sin embargo, hacen un sonido peor. (RUTA 401, 2015)

**2.1.7 Efectos adversos del ruido sobre la salud.** Las consecuencias de la contaminación acústica para la salud según sus efectos específicos: deficiencia auditiva causada por el ruido; interferencia en la comunicación oral; trastorno del sueño y reposo; efectos psicofisiológicos, sobre la salud mental y el rendimiento; efectos sobre el comportamiento; e interferencia en actividades.

**2.1.7.1 Efectos sociales y sobre la conducta.** El ruido puede producir varios efectos sociales y conductuales, así como molestia. Esos efectos a menudo son complejos, sutiles e

---

<sup>11</sup> RUTA 401. *Bocina del Coche: lo que no saben los clientes*, México, 2015.

indirectos y son resultado de la interacción de diversas variables no auditivas. El efecto del ruido urbano sobre la molestia se puede evaluar con cuestionarios o estudios del trastorno de actividades específicas. Sin embargo, se debe reconocer que niveles similares de ruido de tránsito o de la industria causan diferentes grados de molestia. Esto se debe a que la molestia en las personas varía no sólo con las características del ruido, incluida la fuente del ruido, sino que depende en gran medida de muchos factores no acústicos de naturaleza social, psicológica o económica.

La correlación entre la exposición al ruido y la molestia general es mucho mayor en un grupo que en un individuo. El ruido por encima de 80 dB(A) también puede reducir la actitud cooperativa y aumentar la actitud agresiva. Asimismo, se cree que la exposición continua a ruidos de alto nivel puede incrementar la susceptibilidad de los escolares a sentimientos de desamparo. (Berlgund, Lindvall, & Schwe, 1999, pág. 5)

## **2.2 Marco de Referencia Legal**

- **Ley 1333 Ley de Medio Ambiente, de fecha 23 de marzo de 1992**

Se establecen los límites de emisión de fuentes móviles.

- **G.M.L.P N° 692/2008 - G.M.L.P N° 159/2009 - G.M.L.P N° 152/2010 Reglamento de Gestión Ambiental del Municipio de La Paz.**

Capítulo IX - Del control de la contaminación acústica en fuentes móviles. Art. 130 (uso de la bocina).

- **IEC 61672-1. Norma para la calibración y elección de instrumentos para mediciones de nivel sonoro.**

Contempla las especificaciones electroacústicas del funcionamiento de los instrumentos de medición.

- **Norma Boliviana NB 62006 (2005): "Calidad del aire - Emisiones de fuentes fijas - Determinación de niveles de presión sonora - Equipos de medición".**

Establece los mecanismos de medición y evaluación de los niveles de presión sonora y las características del equipo de medición.

# CAPÍTULO

## III

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1 Tipo de Investigación

El enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías. (Sampieri, Collado, & Lucio, 2014, pág. 4)

Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. (Sampieri, Collado, & Lucio, 2014, pág. 92)

El presente proyecto fue de carácter cuantitativo, a partir de la recolección de datos en la medición acústica de las fuentes sonoras, donde se representaron números y se analizaron con métodos estadísticos. Se realizó un estudio de diagnóstico con investigación descriptiva de los niveles de presión sonora que emiten las bocinas de los vehículos del Sindicato Ciudad Satélite.

#### 3.2 Diseño de la Investigación

La investigación no experimental realiza estudios sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos.

Es decir, se trata de estudios en los que no se hace variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables<sup>12</sup>. (Sampieri, Collado, & Lucio, 2014, pág. 152)

La presente investigación fue de diseño no experimental, el cual, realizo mediciones de los niveles de presión sonora sin modificar las características técnicas de la bocina para luego ser analizados.

---

<sup>12</sup> SAMPIERI, Hernández. *Metodología de la Investigación*, McGraw-Hill/Interamericana Editores, México, 2014.

### **3.3 Método de Investigación**

Con los estudios cuantitativos se pretende confirmar y predecir los fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones causales entre elementos. Esto significa que la meta principal es la formulación y demostración de teorías.

Para este enfoque, si se sigue rigurosamente el proceso y, de acuerdo con ciertas reglas lógicas, los datos generados poseen los estándares de validez y confiabilidad, las conclusiones derivadas contribuirán a la generación de conocimiento. Esta aproximación se vale de la lógica o razonamiento deductivo, que comienza con la teoría, y de ésta se derivan expresiones lógicas. (Sampieri, Collado, & Lucio, 2014)

El presente proyecto adoptó el método de investigación deductiva, por lo que se tomaron conclusiones específicas referentes al protocolo de medición y evaluación, para resolver los problemas de la falta de una propuesta de regulación en los niveles de presión sonora en las bocinas de los vehículos del transporte público.

### **3.4 Descripción de la Población**

**3.4.1 Universo.** Todas las bocinas de vehículos públicos que emiten ruidos de diversa intensidad, existentes en el parque automotor del sindicato de transporte público Ciudad Satélite.

**3.4.2 Población.** Todos los vehículos pertenecientes a los 16 grupos interciudad, que tienen como ruta de recorrido el casco urbano central del Municipio de La Paz, teniendo un total de 840 minibuses en cinco marcas diferentes.

**3.4.3 Localización de la zona de muestreo.** El presente proyecto tiene una duración de 6 meses, el cual inició el mes de Julio y concluye el mes de octubre del año 2020. El lugar donde se ejecutó la investigación está ubicado en la parada de minibuses de la Plaza Torrez en la Ciudad de La Paz – El Alto.

### **3.5 Descripción del Método de Muestreo**

Muestra probabilística estratificada Muestreo en el que la población se divide en segmentos y se selecciona una muestra para cada segmento<sup>13</sup> (Sampieri, Collado, & Lucio, 2014), adquirida aleatoriamente entre el 14 y 18 de septiembre de 2020 por funcionarios del sindicato de transporte público Ciudad Satélite, previa solicitud (ver Anexo 20), en la parada de minibuses ubicado en la Plaza Torrez.

### **3.6 Técnicas e Instrumentos de Investigación**

Las técnicas de investigación son instrumentos y herramientas que coadyuvan al logro y cumplimiento de los objetivos (Avendaño Osinaga, 2013), por lo tanto, se utilizaron las técnicas de medición y entrevista.

**3.6.1 Medición.** Para la medición de los Niveles de Presión Sonora de las bocinas en la parada de minibuses del Sindicato de transporte Ciudad Satélite, se utilizó como mecanismos de medición y evaluación de los niveles de presión sonora el Reglamento de Gestión Ambiental, en su Anexo 3 que especifica el procedimiento de ensayo y de evaluación de niveles sonoros de emisión e inmisión generado por actividades moderadas y alto impacto sonoro.

Esto se realizó mediante fichas de campo en las cuales se introdujeron los datos característicos de los vehículos y los valores obtenidos en el proceso de medición.

**3.6.2 Entrevista.** Se realizaron entrevistas a las autoridades correspondientes que ejercen el control respectivo del uso de la bocina, como ser la Unidad de Transito y la Alcaldía Municipal de La Paz (Anexo 20).

---

<sup>13</sup> SAMPIERI, Hernández. *Metodología de la Investigación*, McGraw-Hill/Interamericana Editores, México, 2014.

# CAPÍTULO

## IV

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Identificación de las Bocinas de Acuerdo a la Marca de Vehículos del Sindicato de Transporte Público Ciudad Satélite.

**4.1.1 Muestra poblacional por marca de vehículos.** La muestra se conformó por un total de cinco marcas de minibuses de diferentes modelos. Cada marca de minibus se constituyó de 8 unidades muestrales, como se observa en la tabla 5.

La población fue de 840 minibuses del Sindicato de Transporte Ciudad Satélite y el tamaño de muestra fue  $n = 40$ , según a la siguiente formula:

*Fórmula 7 Formula de la muestra a partir de la obtención finita.*

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{e^2(N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

$n$ = tamaño de la muestra.

$N$ = población.

$Z$ = nivel de confianza.

$p$ = probabilidad a favor.

$q$ = probabilidad en contra.

$e$ = error muestral.

$$n = \frac{1,96^2 * 840 * 0,9 * 0,1}{0,09^2(840 - 1) + 1,96^2 * 0,9 * 0,1} =$$

$$n = 40$$

Las pruebas correspondientes de la muestra fue realizada en la parada de minibuses del Sindicato Ciudad Satélite, en base a las consideraciones que se detalladan en el G.A.M.L.P N° 152/2010 Reglamento de Gestión Ambiental del Municipio de La Paz.

Tabla 5  
*Muestra probabilística estratificada de minibuses del sindicato.*

Estrato de minibuses	Minibuses por marcas	%	Total de la población	Muestra
1		20,2	170	8
2		19,2	161	8
3		20,8	175	8
4		20,0	168	8
5		19,8	166	8
	total=	100,0	840	40

**4.1.2 Características de las bocinas de los vehículos seleccionados.** Los diferentes modelos de bocinas que fueron identificados en las cinco marcas de vehículos presentaron las siguientes características:

- Bocinas de disco o placa en los vehículos de la marca Toyota, King Long, Jin Bei, Jincheng.
- Bocinas de disco en los vehículos de la marca Nissan con una auto-combinación de señales de alta frecuencia.

La posición de las bocinas dentro de los vehículos presentan una diferencia de acuerdo a la marca de cada movilidad. En el modelo Búfalo de la marca Toyota, la bocina se encuentra en la parte frontal del radiador, lo que muestra que su nivel sonoro no presenta una reducción. En el modelo Jincheng, la bocina se encuentra detrás de la plancha que recubre la mascara del vehículo, de manera que el nivel sonoro sufre una ligera atenuación.

#### **4.2 Medición de los Niveles de Presión Sonora de las Bocinas en los Vehículos Seleccionados a partir de el Reglamento de Gestión Ambiental del Municipio de La Paz N° 152/2010**

**4.2.1 Cantidad y ubicación de los puntos de medición.** Los criterios favorables a emplearse para la selección de los puntos en el procedimiento de medición serán los siguientes:

- Determinar los puntos necesarios para la medición con referencia al tráfico vehicular.
- Circulación de peatones a corta distancia del vehículo.
- Considerar los niveles de escucha en el interior del vehículo colindante.
- Vehículo en ensayo estacionario.

Considerando los criterios de selección de los puntos, se determinaron 3 puntos de medición coherentes los cuales refieren con los siguientes aspectos:

- Vehículo en ensayo estacionario.
- Lugar de mediciones a campo abierto.
- Selección del tipo de bocina por marca de vehículos.
- Distancia de medición de los vehículos.

Tabla 6  
*Puntos de medición al interior y exterior del vehículo*

<b>PUNTOS</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>CANTIDAD DE TOMAS</b>
P01	A 1 metro de distancia de la bocina del vehículo	8 vehículos de cada marca, con 3 tomas por vehículo.
P02	A 7 metros de distancia de la bocina del vehículo	8 vehículos de cada marca, con 3 tomas por vehículo.
P03	Al interior del vehículo ubicado exactamente a la altura del oído del conductor (Distancia de vehículo a vehículo a 1,5 metros)	1 vehículo de cada marca, con 3 tomas por vehículo

**4.2.2 Posicionamiento del sonómetro.** Siendo la medición con relación a la emisión del ruido, la altura en la que se ubicó el sonómetro fue de 1,3 metros sobre el nivel del suelo, como se menciona en la Norma Boliviana NB 62006.

Con una distancia de 1 metro, con relación a la fuente, se midió el punto P01 (figura 1), con una distancia de 7 metros se midió el P02 (Figura 2) y para el P03 se realizó una medición al interior del vehículo en la posición donde se ubica el conductor con la ventanilla cerrada (figura 3).



*Figura 1* Distancia a 1m de la fuente



*Figura 2* Distancia a 7m de la fuente



*Figura 3* Al interior del vehículo

**4.2.3 Intervalos de medición.** Para determinar el intervalo de medición se realizó un diagnóstico previo a las mediciones de la siguiente manera:

Siendo una medición de varias fuentes, no se pudo seleccionar un punto en específico para medir los NPS de la bocina en la parada de minibuses, por lo cual se tuvo que cambiar de posición para cada una de las mediciones.

La salida de minibuses con rumbo a su nuevo destino, tiene un intervalo de 3 a 5 minutos, por lo que se tuvo que esperar a la acumulación de varios vehículos en el cual fuera posible tener una mayor cantidad de vehículos para la medición.

Para realizar las mediciones se adoptaron dos horarios de mayor conflicto vehicular en la parada:

- a) 10:00 a 12:00
- b) 14:00 a 17:00

Las mediciones fueron realizadas en esos horarios de acuerdo a los puntos de medición con las siguientes características:

- P01 se midió a 1 metro de distancia de la fuente sonora, con 3 tomas en un intervalo de 3 segundos de impulso a impulso.
- P02 se midió a 7 metros de distancia de la fuente sonora, con 3 tomas en un intervalo de 3 segundos de impulso a impulso.
- P03 se midió al interior del vehículo, en la posición donde se ubica el conductor con la ventanilla cerrada, con 3 tomas en un intervalo de 3 segundos de impulso a impulso. La medición en el P03, fue realizado solamente a un vehículo por marca.

#### 4.2.4 Instrumento de medición.

- Sonómetro PCE-322<sup>a</sup>



*Figura 4* Sonómetro PCE-322<sup>a</sup>

Las características técnicas del sonómetro cumple con los requerimientos que solicita la Ordenanza Municipal de La Paz para la ejecución de medición. (ver Anexo 16)

Además de las pruebas de sonoridad que se efectuó en la parada de minibuses, se verificó el tipo de bocina autorizado, de acuerdo a lo especificado en el Artículo 65°.- (Características de la bocina), que aprueba el Reglamento del Código del Tránsito 8 de junio de 1978, el que obliga los conductores a portar una bocina de acuerdo a las siguientes características:

- Bocina de sonido grave.
- Prohibido el uso de sirenas, vibradoras, claxon y en general de todo aparato que produzca sonido agudo, múltiple y prolongado.

**4.2.5 Sistema de calibración.** El sonómetro que se utilizó fue sometido a una calibración de laboratorio que demanda la Ley Nacional de Metrología No15380 de 1978 acreditado a nivel nacional por IBMETRO. Esto también podrá ser acreditado por el certificado de calibración emitido por IBMETRO. (ver Anexo 17)

**4.2.6 Parámetros aplicados al sonómetro.** El equipo de medición fue colocado sobre un trípode a una altura de 1.30 m de la superficie del suelo y el micrófono se orientó hacia el vehículo; el operador se localizó detrás del sonómetro, de tal forma que no “apantallara” el equipo o que pudiese interferir con los registros; el rango de trabajo fue 30 a 130 dB, con filtro C en modo de respuesta rápida o Fast.

**4.2.7 Cuadro de evaluación.** Se elaboró un modelo de cuadro de evaluación para poder desarrollar una mejor línea de trabajo y organizar la información obtenida en las mediciones realizadas. El cuadro de evaluación contiene los siguientes datos:

- Distancia del sonómetro a la fuente sonora.
- Hora de medición
- Tipo de vehículo
- Modelo en relación a la marca del vehículo

- Marca con la que se identifica en vehículo.
- Color del vehículo
- Tipo de bocina con la que cuenta el vehículo, (clasificado en simple y doble)
- Nivel de presión Sonora Equivalente, (es el promedio de las 3 tomas realizadas)
- Observaciones de las características sobresalientes de la bocina.

	Actividad:	MEDICION DE NPS DE LA BOCINA					Fecha:		/10/20		
	Encargado:	Joel Roly Laura Colque					Lugar:				
<b>MEDICIONES EN LA PARADA DE MINIBUSES CIUDAD SATELITE - PLAZA TORREZ</b>											
Nº	DISTANCIA	HORA	VEHICULO	MODELO	MARCA	COLOR	TIPO DE BOCINA		NPS en (dBC)	OBSERVACIONES	
							simple	doble			
1	1 Metro	10:26	minibus	2017	JIN BEI	blanco	x		96,8		
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											

Figura 5 Modelo del cuadro de evaluación

#### 4.2.8 Desarrollo de los Niveles de Presión Sonora de las Bocinas de los Vehículos del Sindicato Ciudad Satélite.

4.2.8.1 *Promedio de los niveles de presión sonora en decibelios de los puntos P01, P02 y P03.* Utilizando los resultados de las mediciones realizadas en el punto P01, P02 y P03 de la bocina en la Parada de minibuses, se reemplaza los valores en la siguiente fórmula:

$$\bar{L}_p = 10 \log \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n 10^{L_{pi}/10} \right), \text{ dB}$$

$L_p$  = nivel de presión sonora total, dB

$L_{pi}$  = cada nivel de presión sonora individual por vehículo, dB

n = el número total de valores o niveles.

#### 4.2.8.2 *Resultados generales de los niveles de presión sonora de la bocina.*

Tabla 7  
*Registro de NPS a 1 metro por vehículos*

<b>NIVEL DE PRESION SONORA (Decibeles)</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Vehículo</b>	<b>Leq (C) Peak dB</b>
1	minibús Toyota	100,6
2	minibús Toyota	98,5
3	minibús Toyota	104,7
4	minibús Toyota	101,5
5	minibús Toyota	105,3
6	minibús Toyota	105,6
7	minibús Toyota	96,4
8	minibús Toyota	106,7
9	minibús King Long	101,9
10	minibús King Long	102,8
11	minibús King Long	105,7
12	minibús King Long	101,6
13	minibús King Long	101,2
14	minibús King Long	98,5
15	minibús King Long	101,7
16	minibús King Long	102,5
17	minibús King Long	94
18	minibús Jin Bei	96,8
19	minibús Jin Bei	100,1
20	minibús Jin Bei	95,3
21	minibús Jin Bei	99
22	minibús Jin Bei	91,7
23	minibús Jin Bei	98,2
24	minibús Jin Bei	99,9
25	minibús Jin Bei	94,6
26	minibús Jincheng	97,6
27	minibús Jincheng	93,3
28	minibús Jincheng	90,7
29	minibús Jincheng	97,2
30	minibús Jincheng	95,4
31	minibús Jincheng	94,1
32	minibús Jincheng	96,2

33	minibús Jincheng	96,8
34	minibús Nissan	104,4
35	minibús Nissan	105,9
36	minibús Nissan	104,3
37	minibús Nissan	102,6
38	minibús Nissan	100,4
39	minibús Nissan	107
40	minibús Nissan	105,9
41	minibús Nissan	99,3

Tabla 8  
*Registro de NPS a 7 metros por vehículos*

<b>NIVEL DE PRESION SONORA (Decibeles)</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Vehículo</b>	<b>Leq (C) Peak dB</b>
1	minibús Toyota	82,6
2	minibús Toyota	80,5
3	minibús Toyota	86,7
4	minibús Toyota	83,5
5	minibús Toyota	87,3
6	minibús Toyota	87,6
7	minibús Toyota	78,4
8	minibús Toyota	88,7
9	minibús King Long	83,9
10	minibús King Long	84,8
11	minibús King Long	87,7
12	minibús King Long	83,6
13	minibús King Long	83,2
14	minibús King Long	80,5
15	minibús King Long	83,7
16	minibús King Long	84,5
17	minibús King Long	76
18	minibús Jin Bei	78,8
19	minibús Jin Bei	79,1
20	minibús Jin Bei	77,3
21	minibús Jin Bei	81
22	minibús Jin Bei	73,7

23	minibús Jin Bei	80,2
24	minibús Jin Bei	81,9
25	minibús Jin Bei	76,6
26	minibús Jincheng	79,6
27	minibús Jincheng	75,3
28	minibús Jincheng	72,7
29	minibús Jincheng	79,2
30	minibús Jincheng	77,4
31	minibús Jincheng	76,1
32	minibús Jincheng	78,2
33	minibús Jincheng	78,8
34	minibús Nissan	86,4
35	minibús Nissan	87,9
36	minibús Nissan	86,3
37	minibús Nissan	84,6
38	minibús Nissan	82,4
39	minibús Nissan	89
40	minibús Nissan	87,9
41	minibús Nissan	81,3

Tabla 9  
*Registro de NPS al interior del vehículo*

<b>NIVEL DE PRESION SONORA (Decibeles)</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Vehículo</b>	<b>Leq (C) Peak dB</b>
1	minibús Toyota	91,4
2	minibús King Long	90,1
3	minibús Jin Bei	86,7
4	minibús Jincheng	84,6
5	minibús Nissan	93,5

#### **4.2.9 Interpretación de los Resultados.**

**4.2.9.1 Nivel de presión sonora peak ponderado C, por marcas de vehículos en la posición especificada para ruido impulsivo.** De todas las bocinas analizadas dentro de las 5 marcas de vehículos a 1 metro de distancia, sólo 2 se encuentran en un margen de 90 a 100

dB, pertenecientes a las marcas de JIN BEI y JINCHENG. Las otras 3 se encuentran por encima de los 100 dB, pertenecientes a las marcas de TOYOTA, NISSAN y KING LONG, llegando a un máximo de 104,4 dB. Como se observa en la Tabla 10.

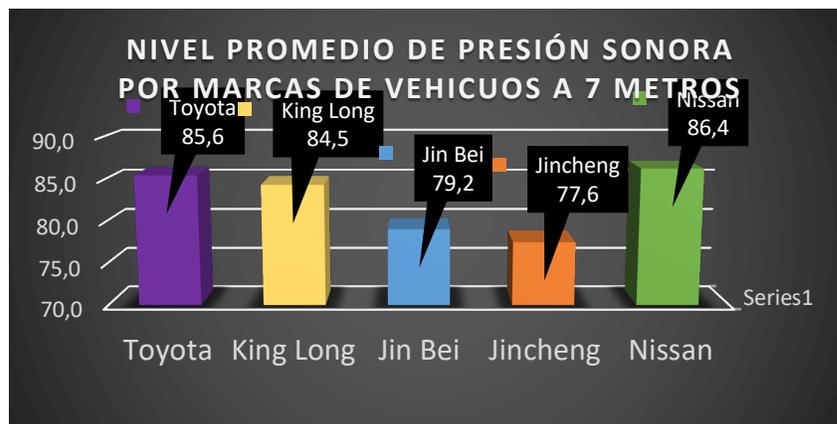
Tabla 10  
*Tabla comparativa de niveles a 1 metro de distancia*

Marca	Suma	Leq dB(C)
Toyota	1,83529E+11	103,6
King Long	1,41498E+11	102,5
Jin Bei	41989085253	97,2
Jincheng	29308092666	95,6
Nissan	2,20059E+11	104,4

Después de obtener todos los datos para el análisis, se evidencia que los niveles de presión sonora pueden tener un impacto en la salud de las personas, por lo tanto, se propone reducir a un nivel conveniente para su uso dentro de la zona urbana del Municipio de La Paz.

En la medición a 7 metros se observa que los niveles de presión sonora tienen una reducción aproximada de 10 a 12 dB en relación a la medición realizada a 1 metro, como se observa en el Gráfico 1, por lo tanto, se determina adoptar el nivel más bajo para realizar la regulación a un solo nivel óptimo y efectivo en una alerta a larga distancia.

Gráfico 1 *Comparación de Niveles Promedio a 7 metros*



Teniendo como referencia el nivel mas bajo que es de 95,6 dB, como se observa en el Gráfico 2, y teniendo un nivel promedio de 84,6 al interior del vehículo, como se ve en el Gráfico 3, se determina regular el nivel de presión sonora a **90 dB**, llegando a tener una atenuación aproximada de hasta 79 dB al interior del vehículo. Por lo tanto, se determinó que los 90 dB es el nivel de presión sonora suficiente que puede ser empleado por el conductor del vehículo para la señal de alerta dentro del área urbana de la Ciudad de La Paz.

Gráfico 2 Comparación de Niveles Promedio a 1 metro

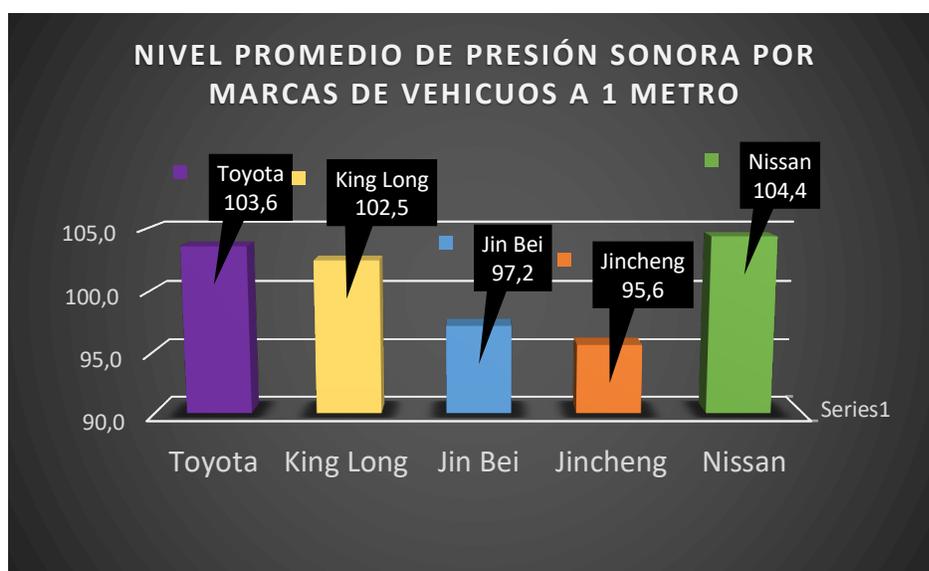
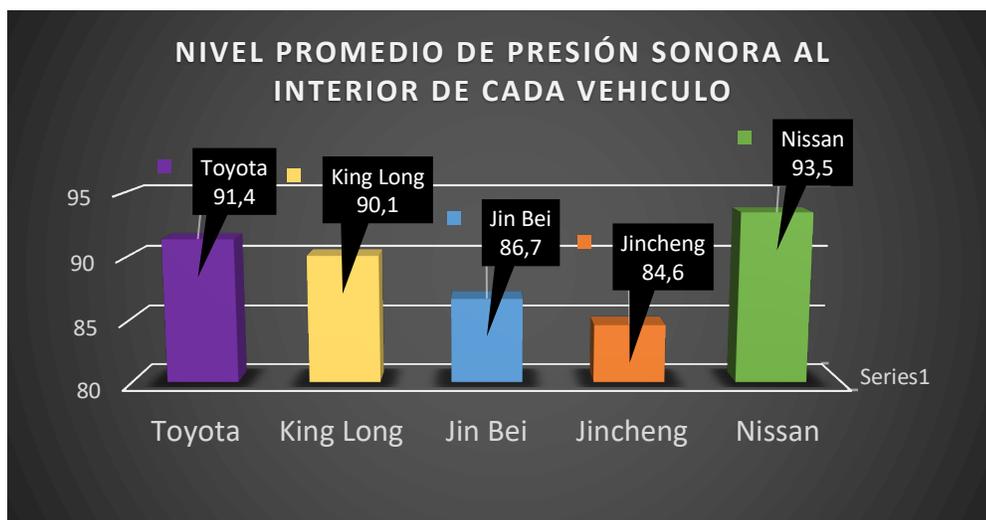


Gráfico 3 Comparación de Niveles al interior del vehículo



Los parametros de medición de los niveles de presión sonora del presente proyecto fueron determinados conforme a los protocolos de medición que presenta el Reglamento de Gestión Ambiental del Municipio de La Paz, así mismo fueron considerados realizar mediciones en diferentes puntos y distancias, los cuales puedan reflejar datos necesarios para el análisis.

Los resultados adquiridos en la medición fueron analizados por medio del software Sound Level Meter, el cual nos permite observar las graficas de impulsos y datos exactos de los diferentes niveles para posteriormente poder ser avaluarlos. (ver Anexo 19)

### **4.3 Elaboración de la Metodología de Regulación Según los Datos Obtenidos**

#### **4.3.1 Metodología de Emisión de Ruido para Vehículos del Transporte Público Ciudad Satélite.**

**4.3.1.1 *Objetivos de protección ambiental y resultados esperados.*** La presente metodología establece la emisión de ruido para vehículos de transporte público. El objeto de esta es regular la emisión de ruido generado por las bocinas de los vehículos mencionados. Se espera que, al reducir la emisión de ruido de este tipo de fuentes, disminuyan los niveles de ruido ambiental en la ciudad.

**4.3.1.2 *Parámetros de medición.*** El sonómetro de medición debe de estar posicionado a 1 metro de distancia del vehículo, con una altura de 1,2 a 1,5 metros, en una respuesta rápida con ponderación C.

#### **4.3.1.3 *Disposiciones generales.***

##### **a) *Ámbito Territorial***

La presente metodología de emisión se aplicará en el casco urbano central del Municipio de La Paz.

##### **b) *Fuentes Emisoras***

La presente metodología establece los límites de emisión de ruido para vehículos de transporte público cuya inspección se registra en el Sistema de Revisión Técnica Vehicular.

**4.3.1.4 Definiciones.** Para los efectos de lo dispuesto en esta metodología, se entenderá por:

**a) Decibel (dB)**

Unidad adimensional usada para expresar el logaritmo de la razón entre una cantidad medida y una cantidad de referencia. De esta manera el decibel es usado para describir niveles de presión, potencia o intensidad sonora.

**b) Ensayo estacionario**

Ensayo para medir la emisión de ruido de un vehículo que se realiza con el vehículo detenido.

**c) Nivel de Presión Sonora (NPS)**

Se expresa en decibeles (dB) y se define por la siguiente relación matemática:

$$NPS = 20 \log\left(\frac{P}{P_0}\right), \quad dB.$$

Donde:

P: Valor de la presión sonora medida

P<sub>0</sub>: Valor de la presión sonora de referencia, fijado en:

$$(p_{ref}) = 2 \times 10^{-5} N/m^2$$

**d) Nivel de presión sonora máximo (NPSmáx)**

Es el NPS más alto registrado durante el periodo de medición, con respuesta rápida.

**e) Respuesta rápida**

Es la respuesta temporal del instrumento de medición que evalúa la energía media en un intervalo de 125 milisegundos.

**f) Vehículo**

Todo vehículo motorizado destinado al transporte público de personas, por calles y caminos y que tiene un peso bruto vehicular igual o superior a 2.700 Kg, e inferior a 3.860 Kg.

**4.3.1.5 Límites de emisión.** Los vehículos de transporte público, cuya inscripción en la Revisión Técnica Vehicular de la Policía Boliviana, sean evaluados bajo la presente norma, podrán circular por todo el territorio Municipal de La Paz, si respecto de ellos se acredita que no exceden los niveles de presión sonora máximo de la bocina establecidos en la siguiente Tabla 11.

Tabla 11  
*Límite de niveles de presión sonora máximos para vehículos del transporte público, según ensayo estacionario*

<b>LIMITES MAXIMOS DE LA BOCINA</b>
<b>Leq en dB(C)</b>
<b>90</b>

## CONCLUSIONES

- Se observó que las bocinas de los vehículos presentan diferentes características con relación a la marca de cada vehículo. Los minibuses de la marca Nissan tienen instaladas bocinas con una auto-combinación de señales de alta frecuencia. Una gran cantidad de bocinas instaladas en los minibuses de las diferentes marcas, fueron remplazadas por bocinas con mayor NPS.
- La ejecución de la medición demostró que los niveles de presión sonora de las bocinas pueden ser regulados a un nivel óptimo para su empleo en el área urbana de la ciudad de La Paz y de esta manera prevenir los efectos a la salud aditiva de las personas.
- También se pudo evidenciar que los vehículos del transporte público del Sindicato Ciudad Satélite pueden trabajar de manera eficiente con una bocina que no supere un nivel de presión sonora de 90 dB, siendo este nivel suficiente para la señal de alerta en un posible caso de emergencia dentro del área urbana de la Ciudad de La Paz.
- De esta manera la elaboración de la presente Metodología de regulación es funcional para cualquier sindicato de transporte público.
- Dentro del parque automotor público se observó una gran cantidad de vehículos antiguos, con modelos de hace 20 a 30 años atrás, los cuales aún mantienen bocinas con altos niveles de presión sonora.
- Entre los resultados más relevantes es necesario destacar que más del 50 % de las bocinas superan los 100 dB, producto del cambio de la fuente sonora en algunos vehículos y por fabricación en marcas como Toyota y Nissan.

- También es necesario mencionar que una gran cantidad de conductores realizan cambios de las bocinas cada 4 meses, evidenciando de esta manera el uso excesivo e innecesario de la bocina.
- El nivel recomendado en la propuesta de metodología contempla las consideraciones necesarias para el buen funcionamiento de la bocina, manteniendo de esta manera su esencia de alerta y preservando el nivel necesario para su emisión.

## RECOMENDACIONES

- Por otra parte, teniendo presente que el propósito de este proyecto es reducir el riesgo de daño en la audición debido a los altos niveles de ruido impulsivo, se recomienda que las bocinas de los vehículos de transporte público, sean evaluados por Transito para su control y regulación.
- Se recomienda cambiar la fuente sonora con un dispositivo no mayor a los 100 dB, también existe la posibilidad de regular el nivel sonoro a través del tornillo que presenta el transductor.
- Durante la medición de los niveles de presión sonora, se recomienda utilizar protectores auditivos los cuales pueden ser tapones o cascos.
- Para la ejecución de las mediciones se recomienda ubicar los vehículos en lugares alejados de las personas o vendedores del sector.
- Se recomienda la implementación del presente proyecto, para el cuidado de la salud auditiva, el cual será un gran aporte para los ciudadanos de a pie que transitan en el casco urbano de la Ciudad de La Paz.
- Se recomienda que los dirigentes del Sindicato Ciudad Satélite deben realizar campañas de concientización a todos sus asalariados, referente al uso adecuado de la bocina y el daño que puede provocar en la salud auditiva de las personas.

## BIBLIOGRAFÍA

- EFE, F. f. (10 de octubre de 2018). SALUD RUIDO. *La OMS recomienda límites a exposición al ruido por su impacto en la salud*, pág. 1.
- OMS, O. M. (2015). *Escuchar sin riesgos*. Ginebra: OMS.
- Stockholm University, K. I. (1995). Guías para el Ruido Urbano. En O. M. Salud, *Community Noise* (pág. 20). Londres: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/CEPIS.
- Madrid), J. M. (2015). *CONTAMINACION ACUSTICA Y RUIDO*. Madrid: Ecologistas en Acción.
- Avendaño Osinaga, R. A. (2013). *Motodologia de la Investigacion*. Cochabamba: Educacion y Cultura.
- Miyara, F. (2003). *Introducción a la Psicoacústica*. Rosario: Escuela de Ingeniería Electrónica.
- Miyara, F. (2006). *Introducción a la Acústica*. Rosario: Escuela de Ingeniería Electrónica.
- Menéndez, V., & Garcia. (2007). *Instrumentación Acústica*. Madrid: BBM S.L.
- Estelles, R., & Fernandez, A. (2007). FUENTES SONORAS Y PROPAGACION DEL SONIDO. En R. Estelles, & A. Fernandez, *Acondicionamiento Acústico* (pág. 7). s.f: s.f.
- Universidad de Granada. (2014). *Medidas de Ruido*. Granada: UGR.
- Miyara, F. (2004). Ruido Urbano. En F. Miyara. Rosario: Escuela de Ingeniería Electrónica.
- Ramírez González, A. &. (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*.

- Berglund, B., Lindvall, T., & Schwe, D. (1999). *GUÍAS PARA EL RUIDO URBANO*.  
Londres: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente,  
OPS/CEPIS.
- Sampieri, H., Collado, F., & Lucio, B. (2014). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*.  
Mexico: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES.
- Ramírez Gonzáles, A., Domínguez, C., & Efraín, A. (2011). EL RUIDO VEHICULAR  
URBANO: PROBLEMÁTICA AGOBIANTE DE LOS PAÍSES EN VÍAS DE  
DESARROLLO. (F. y. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas,  
Ed.) *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*,  
35.

### WEBGRAFÍA

- Ejecutivo, P. (8 de junio de 1978). *Bolivia Infoleyes*. Recuperado el 24 de octubre de 2019,  
de Reglamento del Código Nacional de Tránsito (RCNT):  
<https://bolivia.infoleyes.com/articulo/57050>
- Boicnas para Auto. (13 de mayo de 2019). *Autridad de Conduccion Internacional*. Obtenido  
de Idaoffice: <https://idaoffice.org/es/posts/car-horns/>
- Ruido Ambiental, C. (2005). *SICA Sistema de Informacion sobre Contamienación Acústica*.  
Obtenido de [sicaweb.cedex:](http://sicaweb.cedex.es)  
<http://sicaweb.cedex.es/docs/documentacion/Conceptos-Basicos-del-ruido-ambiental.pdf>
- RUTA 401. (2015). *Bocina del coche: lo que no saben los clientes*. Obtenido de LOCTITE  
TEROSON: <https://blog.reparacion-vehiculos.es/bocina-coche>

Industrial and Commercial Bank of China. (2012). *Bocina: un instrumento para usar a conciencia*. Obtenido de ICBC Industrial and Commercial Bank of China: <https://www.icbc.com.ar/personas/como-ayudarte/autos/Bocina%3A-un-instrumento-para-usar-a-conciencia#:~:text=Una%20bocina%20suena%20a%2090,Organizaci%C3%B3n%20Mundial%20de%20la%20Salud>.

FAM-BOLIVIA. (20 de junio de 2016). *Federacion de Asociaciones Municipales de Bolivia*. Recuperado el 15 de octubre de 2019, de Facebook: <https://www.facebook.com/181646422172306/photos/contaminaci3n-ac3stica-pasa-niveles-permitidos/303401736663440/>

ATB Digital. (30 de abril de 2014). Obtenido de YOUTUBE: <https://www.youtube.com/watch?v=r4FRGAeITCE>

El Diario. (18 de mayo de 2018). La bocina y seguridad vial. *Opini3n*, p3g. 1.

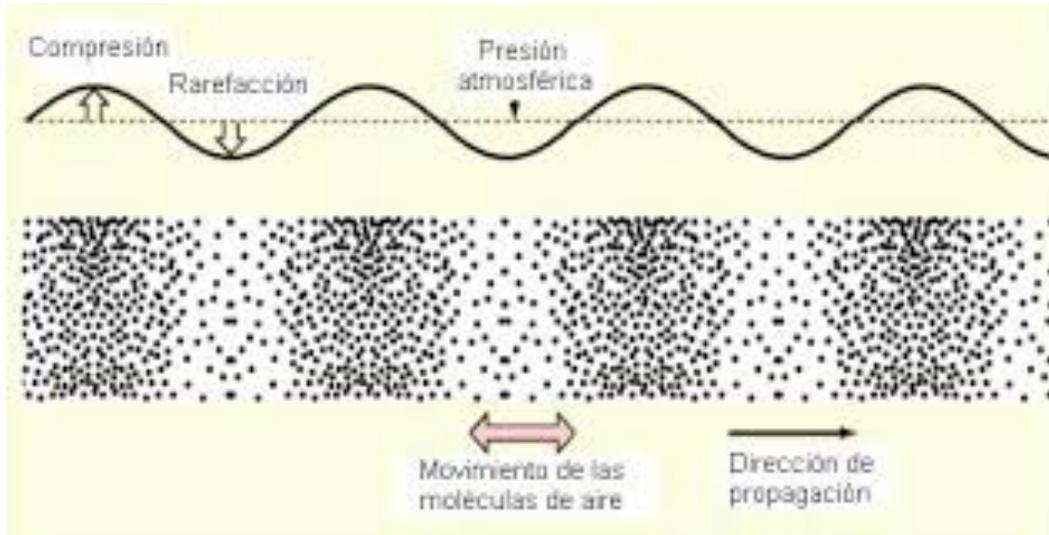
Reglamento del C3digo de Tr3nsito. (1978). *Lexivox*. Obtenido de Portal Juridico: <https://www.lexivox.org/norms/BO-RE-RS187444.xhtml>

Inspecci3n Tecnica Vehicular. (2019). *Comando General de la Policia Boliviana*. Obtenido de GOB: <https://www.gob.bo/tramite/1334>

# **ANEXOS**

## Anexo 1.

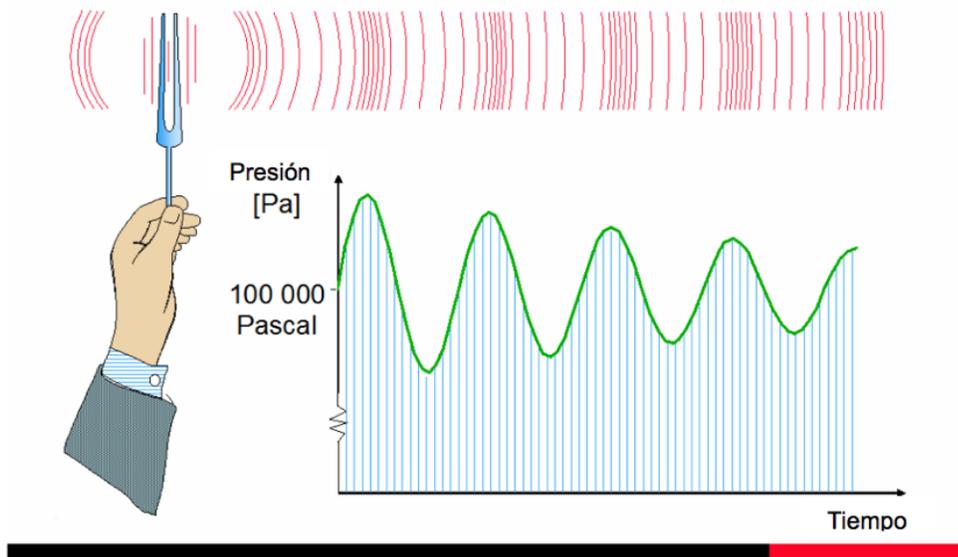
### Compresión y rarefacción con respecto a la presión atmosférica



## Anexo 2.

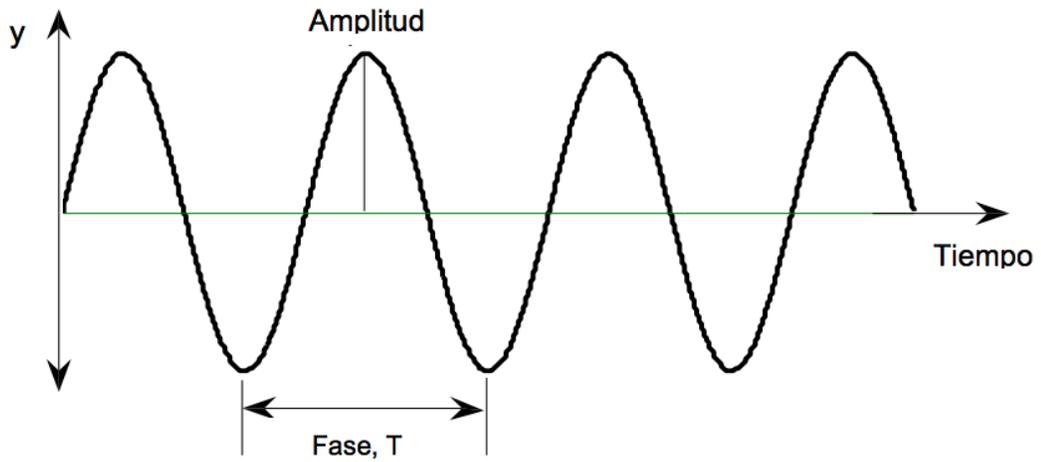
### Presión de Sonido

#### Presión De sonido



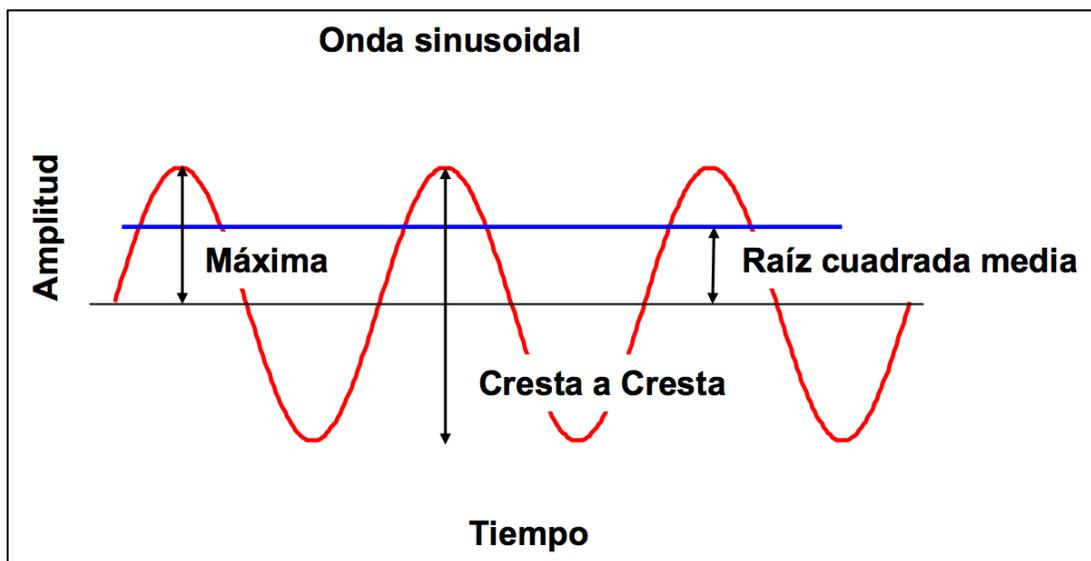
### Anexo 3.

Onda de sonido, variación de presión con relación a la presión atmosférica



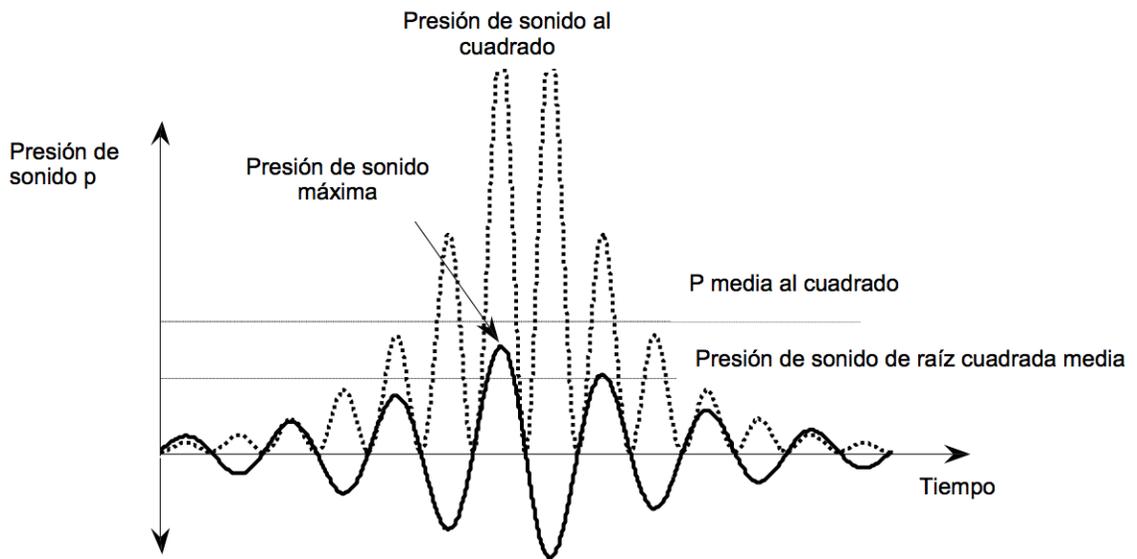
### Anexo 4.

Amplitud de onda de sonido



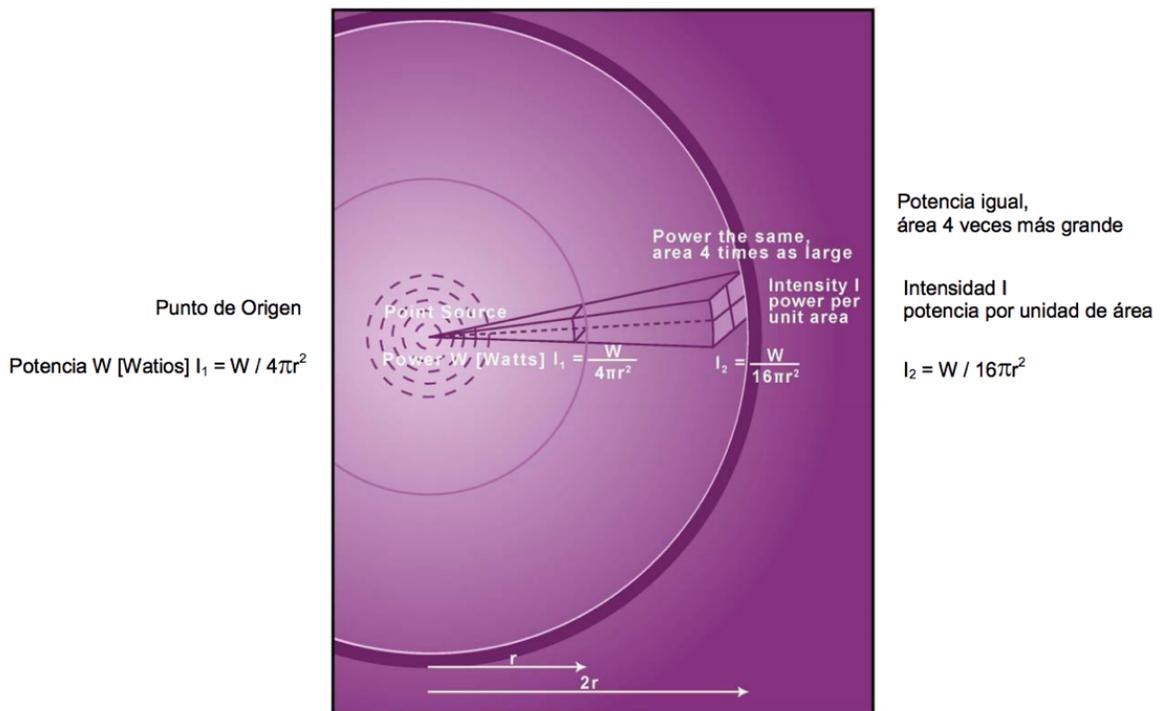
### Anexo 5.

#### Comparación de la presión y la señal de presión al cuadrado con tiempo



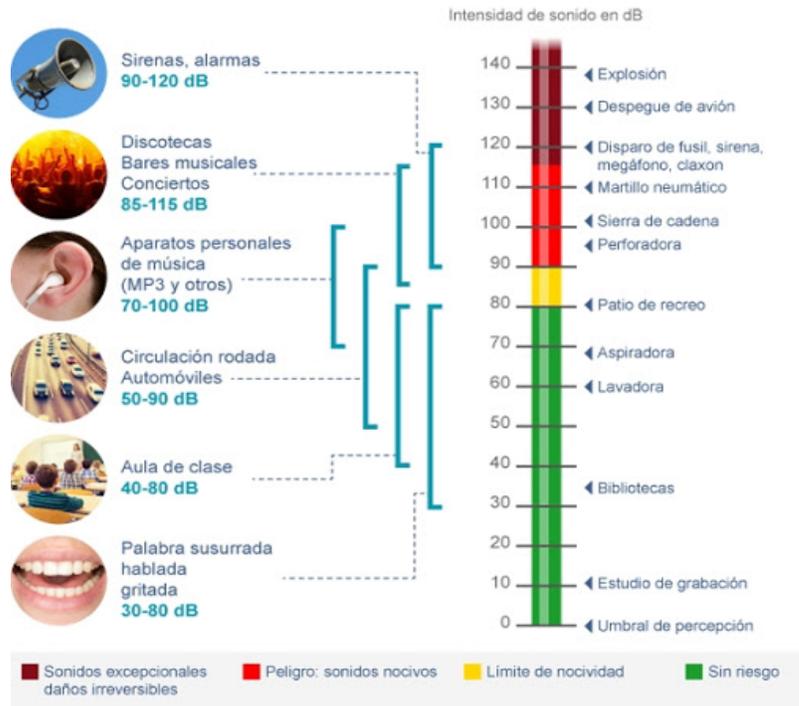
### Anexo 6.

#### Sonido que se irradia hacia afuera desde la fuente



## Anexo 7.

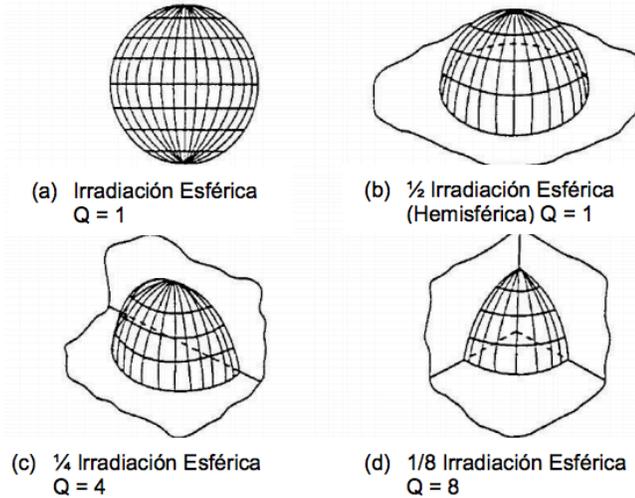
### Rango típico de niveles de presión de sonido



## Anexo 8.

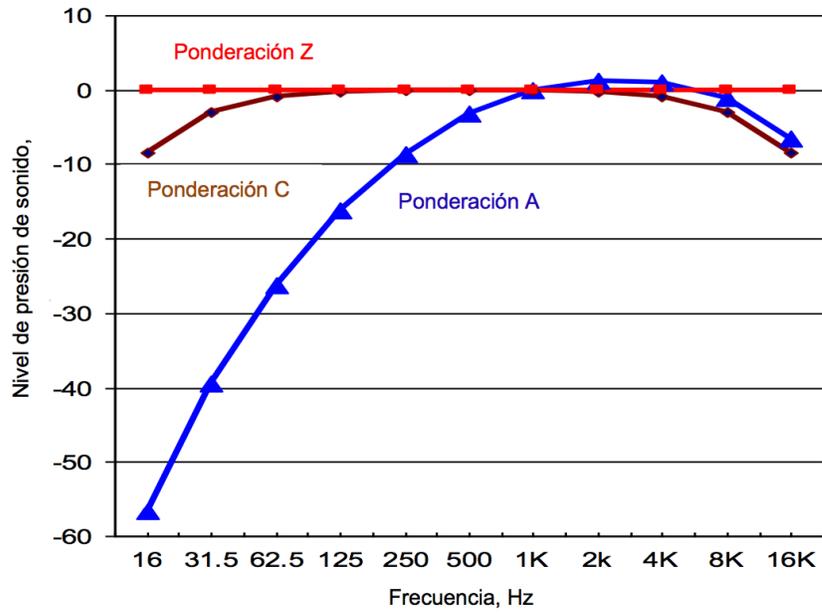
### Factor de direccionalidad Q para condiciones límites de variación

#### Factor de Direccionalidad (Q), Relaciones Simplificadas



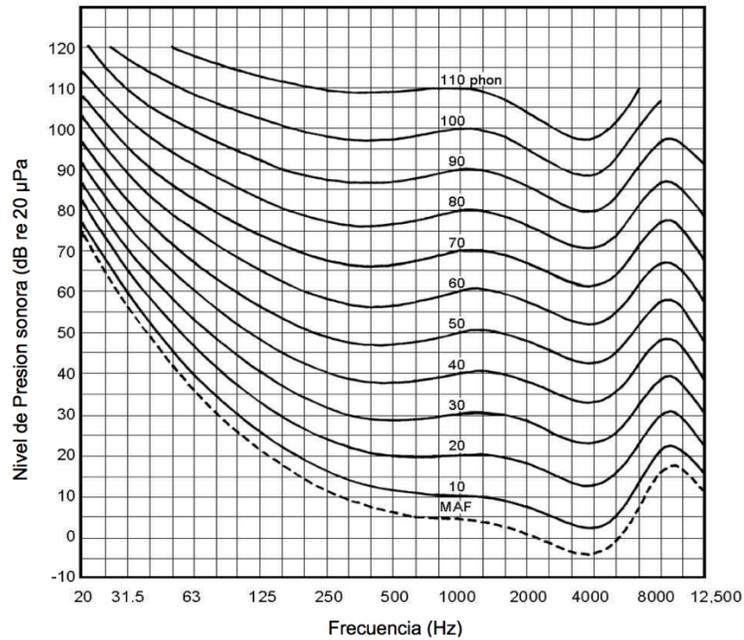
### Anexo 9.

#### Representación grafica de los filtros con ponderación A, C y Z



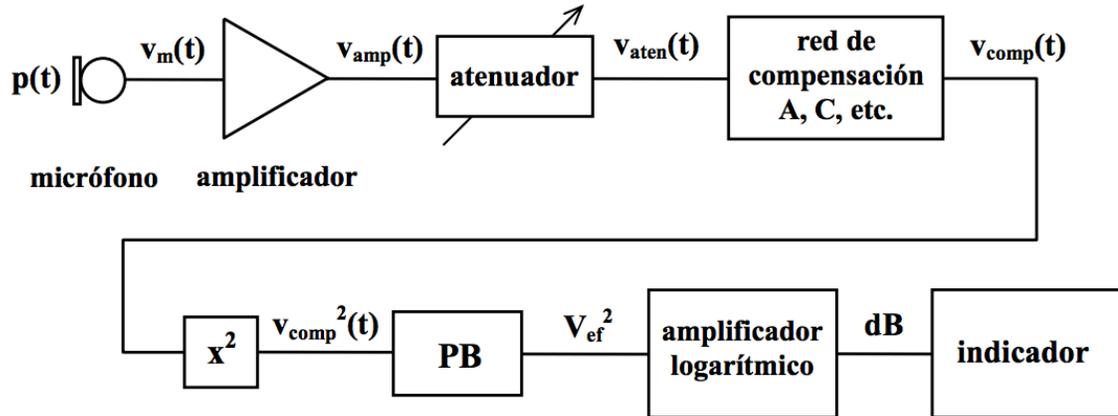
### Anexo 10.

#### Contornos de igual sonoridad de tonos puros para condiciones de campo sonoro directo (oído abierto, incidencia frontal)



### Anexo 11.

Diagrama de bloques de un medidor de nivel sonoro (también denominado sonómetro, o decibelímetro)



### Anexo 12.

Bocina de disco simple



### Anexo 13.

Bocina de disco doble



## Anexo 14

### Mapa Plaza Torrez



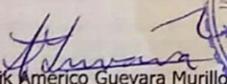
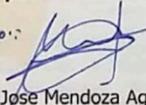
## Anexo 15.

### Especificaciones Sonómetro PCE-322A

Normas	IEC61672-1 Type2
Rango de frecuencia	31,5 Hz ~ 8 KHz
Rango de medición	30 ~ 130 dB
Ponderación de frecuencia	A / C
Capacidad de almacenamiento	32700 valores
Micrófono	1/2 pulgadas Elektret micrófono condensador
Pantalla	LCD, 4 dígitos
Resolución	0,1 dB
Actualización de pantalla	Cada 0,5 s
Clasificación temporal	FAST ( 125mS ), SLOW ( 1 s )
Rangos de medición	Lo: 30 – 80 dB Med: 50 – 100 dB Hi: 80 – 130 dB Auto: 30 – 130 dB
Precisión	±1,4 dB (bajo condiciones de referencia @ 94 dB, 1KHz) „Over“ aparece si el valor medido actual es mayor al rango de medición seleccionado/ „under“ aparece si el valor medido actual es menor al rango de medición seleccionado/
Valor Min/ Max	Función Hold para el valor mínimo y máximo
Salida AC	1 Vrms (basado en el valor máximo de la gama de medición seleccionado)
Impedancia de salida	Aprox. 100 Ohm
Salida DC	10 mV / dB
Impedancia de salida	1KΩ
Fuente de alimentación	Batería 9 V (típica para 30 horas de funcionamiento)
Adaptador AC	9 VDC ( 8-15VDC Max, Adaptador red)
Temperatura de funcionamiento	0 °C ...+40 °C
Humedad de funcionamiento	10 ... 90 % r. F.
Temperatura de almacenamiento	-10 °C ... 60 °C
Humedad de almacenamiento	10 ... 75 % r. F.
Dimensiones	280 x 95 x 45 mm
Peso	350 g ( incl. baterías )

## Anexo 16.

### Certificado de calibración emitido por IBMETRO

<b>Instituto Boliviano de Metrología</b> "Mediciones confiables para el Vivir Bien"		 IBMETRO
<b>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN</b>		<b>LP-CCA-0063-2020</b>
<b>Laboratorio:</b> Acústica		<b>Telefono:</b> (+591 2) 2372046 int. 331 – 330
<b>Solicitante:</b>	TAJIRA	
<b>Dirección:</b>	c/ Eusebio Gutierrez N° 163 Barrio Gráfico La Paz - Bolivia	
<b>Instrumento:</b>	Sonómetro digital  Rangos de medición: 30 - 80 dB; 50 - 100 dB; 80 - 130 dB; 30 - 130 dB Ponderaciones: Frecuencia: A, C Tiempo: Fast, Slow Resolución: 0,1 dB Clase 2	
<b>Marca:</b>	PCE GROUP	
<b>Modelo:</b>	PCE-322A	
<b>Número de serie:</b>	09117819	
<b>Identificación interna:</b>	No Indica	
<b>Lugar de calibración:</b>	Laboratorio de Acústica - IBMETRO La Paz	
<b>Fecha de calibración:</b>	2020-10-05	
<b>Fecha de emisión</b>	2020-10-07	
<b>Número de páginas del certificado:</b>	2	
<b>Elaborado por:</b>	 Erik Americo Guevara Murillo Técnico Superior del Laboratorio de Flujo (Gas Y Líquido) y Grandes Volúmenes	<b>Autorizado por:</b>  Juan Jose Mendoza Aguirre Supervisor Unidad de Flujo, Termometría y Electricidad
		
<b>Factura N°:</b> 1914	<b>Cotización:</b> CTZ-DMIC-02636-2020	
<b>ADVERTENCIA:</b> El presente certificado autoriza el uso del instrumento para fines propios del solicitante. No constituye autorización legal de uso para la certificación metroológica a terceros y no puede ser reproducido sin la autorización escrita del IBMETRO, salvo que la reproducción sea total. El presente documento se emite de acuerdo a la Ley Nacional de Metrología (DL15380 de 1978-03-28).		
<b>LA PAZ:</b> Avenida Camacho N° 1488 - Telf./Fax: (+591 2) 2372046 2310037 2147945 <b>COCHABAMBA:</b> Calle Tumusla N° 510 esq. México - Telf./Fax: (+591 4) 4520856 <b>SANTA CRUZ:</b> Av. Alemana - Calle Ascención N° 3630 - Telf./Fax: (+591 3) 3410922 <b>COBILJA:</b> Carretera a Porvenir Km. 14 1/2 ZOFRACOBILJA - Telf. (+591) 71525861		
<b>TARIJA:</b> Calle Ingavi N° 156 Edif. Coronado P2 of. 204 - Telf./Fax: (+591 4) 6658866 <b>SUCRE:</b> Calle Luis Paz Arce (Ex Pilinco) y George Rouma N° 108 - Telf. (+591) 71559129 <b>RIBERALTA:</b> Av. Amazónica S/N entre Av. Acelerata y Av. Coco - CADEXNOR - Telf./Fax (+591) 67359342		
<a href="http://www.ibmetro.gob.bo">www.ibmetro.gob.bo</a> <a href="mailto:info@ibmetro.gob.bo">info@ibmetro.gob.bo</a> 800-10-9999		

**Patrones de medición y trazabilidad:**

DESCRIPCIÓN	CODIGO INTERNO	TRAZABILIDAD
Calibrador sonoro - Marca: QUEST TECHNOLOGIES	I-LA-CAL-01	LAC-101-2016 INACAL - Peru
Barómetro digital - Marca: EXTECH	IBM-LA-TH-01	LP-CIP-005-2020 - IBMETRO
Termohigrometro digital - Marca: EXTECH	IBM-LA-TH-01	LP-CIH-008-2020 - IBMETRO LP-CIT-009-2020 - IBMETRO

**Condiciones ambientales:**

Temperatura ambiental: 18,5 °C ± 2 °C  
 Humedad relativa: 37 %HR ± 5 %HR

**Procedimiento empleado:**

Procedimiento de IBMETRO PE-LA-01 "Procedimiento para calibración de sonómetros, a dos niveles de presión sonora y 3 presiones atmosféricas" según normas IEC 61672 partes 1 y 3.

**Resultados de medición:**

Hoja de registro LA-0063/20.

El sonómetro fue ajustado a 94 dB y 1 kHz, en el rango de 50 dB a 100 dB, ponderación de frecuencia A, ponderación de tiempo Fast, a una presión atmosférica de 665 milibar, a partir de dicho ajuste se obtuvieron los siguientes resultados.

Nivel de presión sonora (PATRÓN) dB	Presión atmosférica mbar	Valor encontrado (IBP) dB	Error dB	Incertidumbre expandida dB
94,0	665	94,0	0,0	0,4
	760	93,7	-0,3	0,4
	1014	93,7	-0,3	0,4
114,0	665	114,6	0,6	0,4
	760	114,4	0,4	0,4
	1014	114,4	0,4	0,4

**IBP:** Instrumento bajo prueba

**Nota 1.** Los niveles de presión sonora fueron generados a una frecuencia de 1 kHz

**Nota 2.** Para el nivel sonoro de 94 dB el sonómetro fue configurado: rango 50 - 100 dB; A; Fast

**Nota 3.** Para el nivel sonoro de 114 dB el sonómetro fue configurado: rango 80 - 130 dB; A; Fast

**Incertidumbre:**

aproximado del 95 %, de acuerdo a la "Guía BIPM/ISO GUM para la expresión de la incertidumbre en las mediciones"

**Observaciones:**

El instrumento se ajustó según configuración recomendada en el manual.  
 Lectura previa al ajuste 94,5 dB; lectura posterior al ajuste 94,0 dB  
 Resultados a una presión atmosférica de 665 milibar.  
 Valores de ajuste: 94 dB y 1 kHz

Se recomienda la recalibración del instrumento en un plazo no mayor a 12 meses. El usuario es responsable de mandar a recalibrar el instrumento de medición dentro de intervalos de tiempo apropiados.

Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza por los posibles cambios que puedan derivarse del uso inadecuado o por efectos de transporte del instrumento.

**Fin del Certificado de Calibración.**

**ADVERTENCIA:** El presente certificado autoriza el uso del instrumento para fines propios del solicitante. No constituye autorización legal de uso para la certificación metrológica a terceros y no puede ser reproducido sin la autorización escrita del IBMETRO, salvo que la reproducción sea total. El presente documento se emite de acuerdo a la Ley Nacional de Metrología (DL15380 de 1978-03-28).

**Anexo 17.**

**Fotografías de las mediciones de las bocinas en los vehículos**



*Mediciones en la bocina de la marca Nissan a 1 metro de distancia*



*Mediciones en la bocina de la marca Toyota a 1 metro de distancia*



*Mediciones en la bocina de la marca Jin Bei a 1 metro de distancia*



*Mediciones en la bocina de la marca King Long a 1 metro de distancia*



*Mediciones en la bocina de la marca Jincheng a 1 metro de distancia*



*Mediciones en la bocina en diferentes marcas de vehiculos a 7 metros de distancia*



*Mediciones en la bocina al interior del vehículo con la ventanilla cerrada*

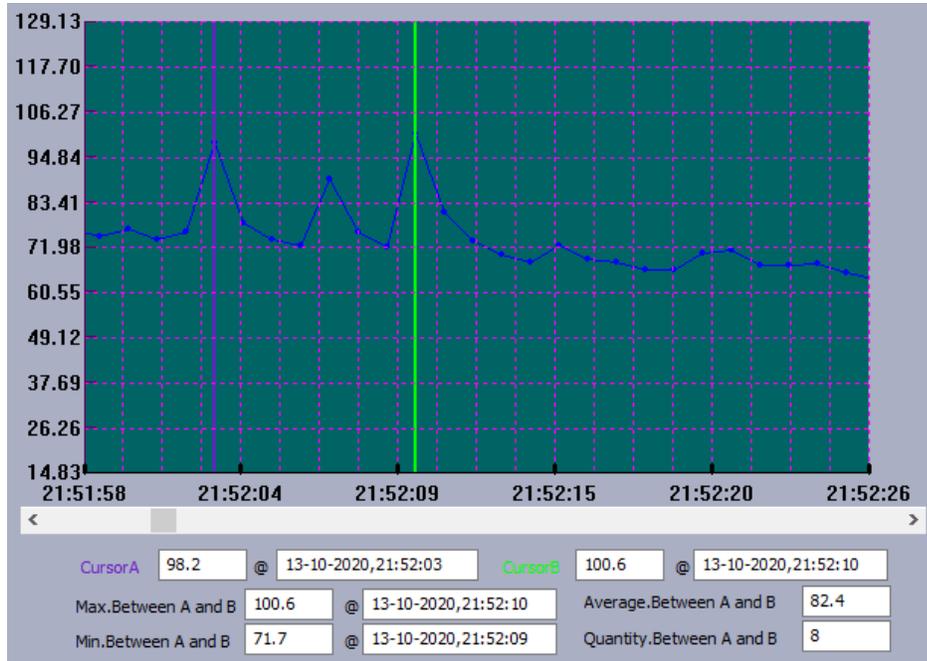


*Mediciones en la bocina al interior del vehículo*

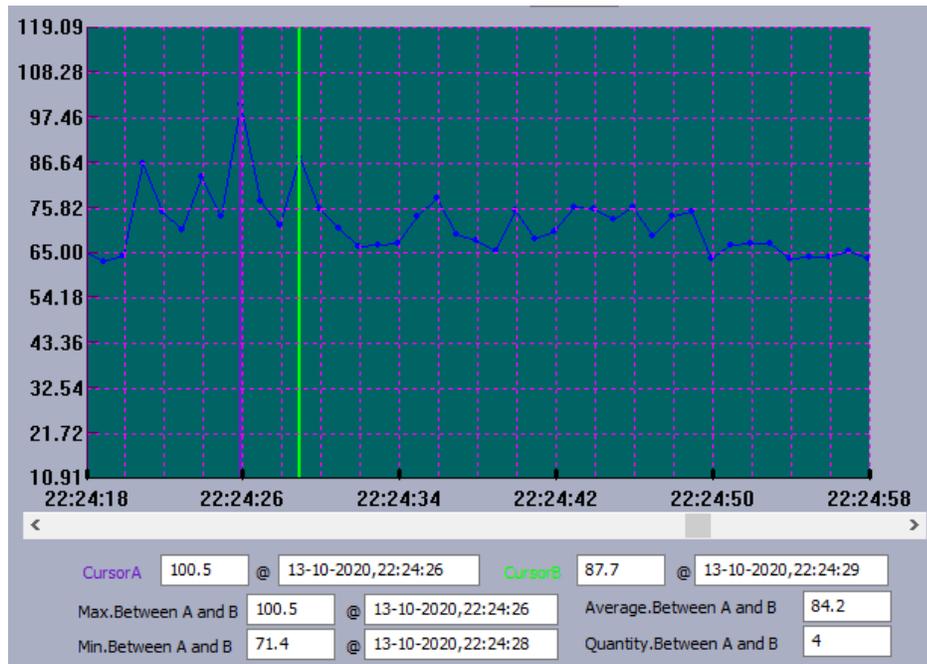
## Anexo 18.

### Gráficas de análisis con Sound Level Meter

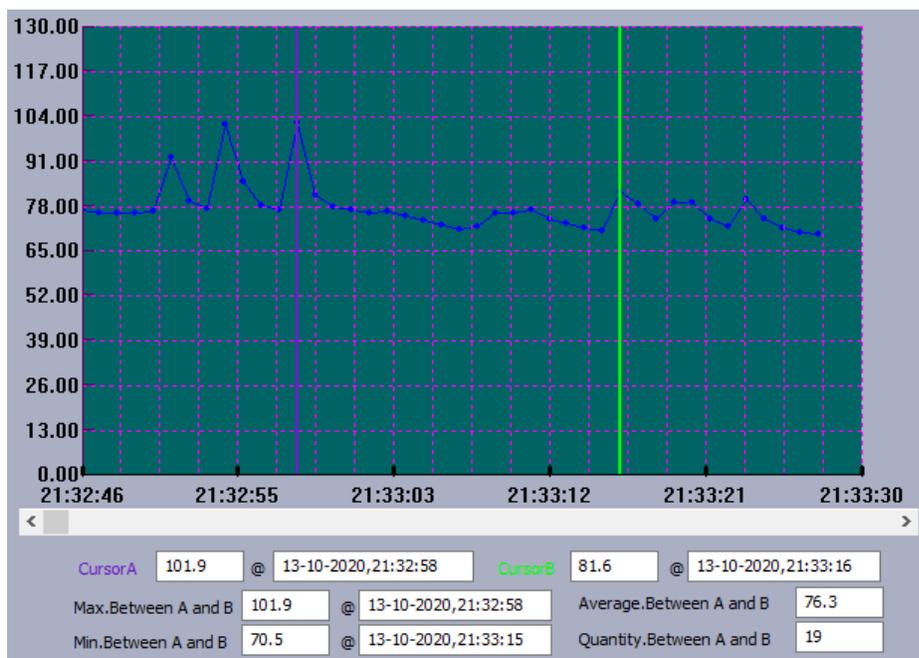
*Minibús marca TOYOTA Punto P01*



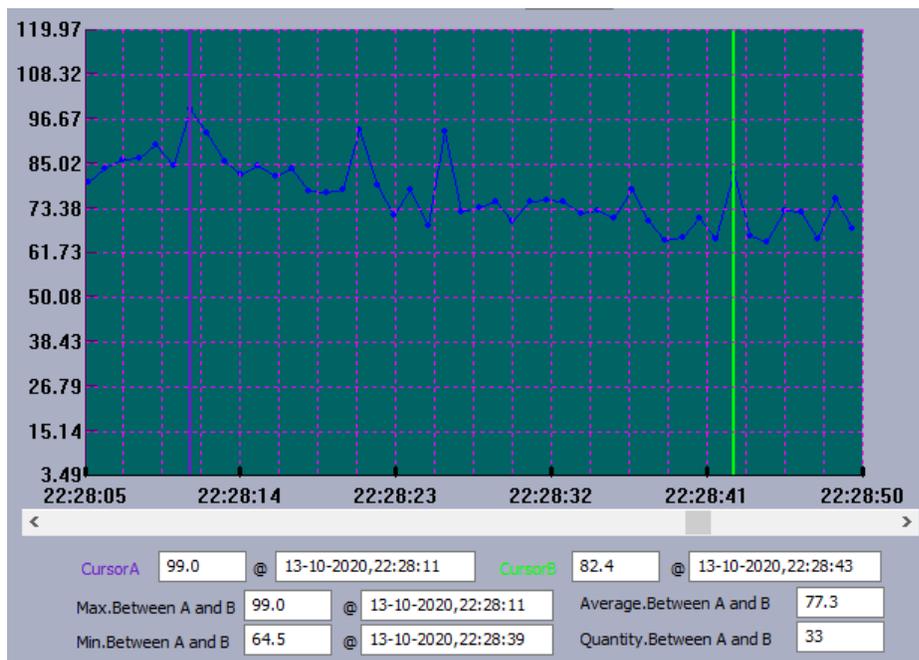
*Minibús marca NISSAN Punto P01 y P02*



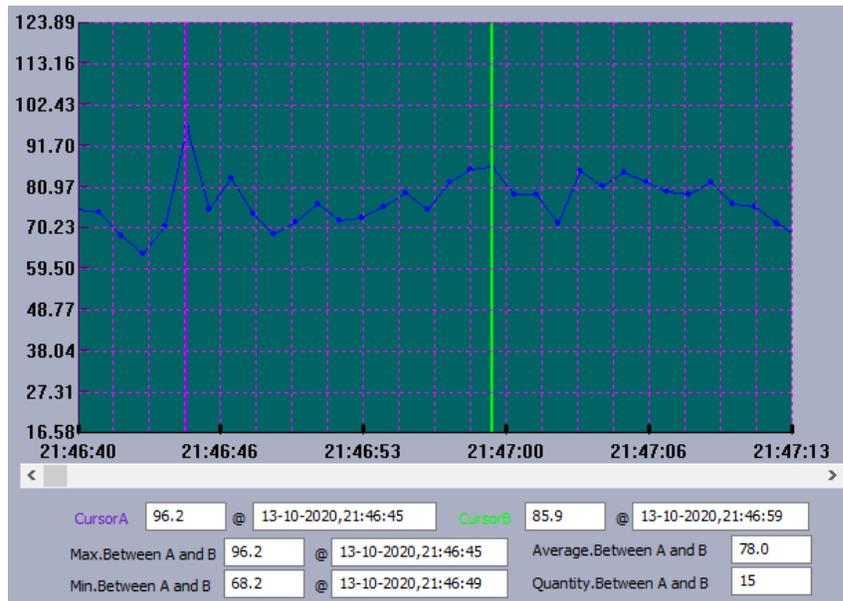
*Minibús marca KING LONG Punto P01 y P02*



*Minibús marca JIN BEI Punto P01 y P02*



*Minibús marca JINCHENG Punto P01*



**Anexo 19.**

**Solicitud de desarrollo del proyecto enviada al Sindicato Ciudad Satélite**



*Tito Machicado*  
Tito Machicado  
SECRETARIO GENERAL  
SINDICATO MIXTO DE TRANSPORTISTAS  
CIUDAD SATELITE  
28-Sep. 2020

La Paz 24 de septiembre de 2020

Señor:  
Tito Machicado  
SECRETARIO GENERAL DEL SINDICATO CIUDAD SATÉLITE

**NOTA DE SOLICITUD PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADO DEL POSTULANTE JOEL ROLY LAURA COLQUE**

A tiempo de saludarlo y desearle mucha salud, hago llegar la solicitud institucional para el desarrollo del proyecto de grado del postulante Joel Roly Laura Colque en el prestigioso sindicato, "Ciudad Satelite".

Nuestro postulante quien tiene el perfil aprobado con el siguiente título "PROPUESTA DE UNA NORMATIVA DE REGULACIÓN MEDIANTE MEDICIONES ACÚSTICAS DE LA BOCINA DEL TRANSPORTE PÚBLICO, PARA REDUCIR LOS ALTOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN EL CASCO URBANO CENTRAL DEL MUNICIPIO DE LA PAZ" hará el desarrollo del proyecto de grado en su institución si nos lo permiten.

De Antemano agradecidos con su persona y contando con su total apoyo me despido calurosamente.

Atentamente:

*Alvaro Joaquin Panozo Vargas*  
Ing. Alvaro Joaquin Panozo Vargas  
DIRECTOR DE CARRERA INGENIERÍA DE SONIDO  
UNITEPC SUBSEDE LA PAZ



**Anexo 20**  
**Entrevistas**

Cnl. DESP. Ricardo Pérez Andrade

Director Departamental de Transito La Paz

1. ¿Cómo calificaría el uso de la bocina en la ciudad de La Paz?
  - a) Excesivo
  - b) Moderado
  - c) Imperceptible
2. ¿Cuáles considera los horarios de mayor caos vehicular?
  - a) Por la mañana de 07:00 a 09:00
  - b) Por la tarde de 12:00 a 14:00
  - c) Por la noche de 18:00 a 20:00
3. ¿Cuáles considera los sectores de mayor caos vehicular?
  - a) Miraflores
  - b) El Prado
  - c) Uyustus
4. ¿Que tipo de vehículos usan con mayor frecuencia la bocina?
  - a) Vehículos de transporte Público
  - b) Vehículos de transporte Privado
5. ¿Hay alguna inspección o control de las bocinas que se realiza en los vehículos del transporte público?
  - a) Si
  - b) No
6. ¿Hay algún tipo de control sobre los niveles de presión sonora de las bocinas?
  - a) Si
  - b) No
7. ¿Es necesario realizar una regulación en las bocinas de los vehículos?
  - a) Si
  - b) No

Lic. Miguel Alcázar

Director de Prevención y Control Ambiental

1. ¿Cómo calificaría el uso de la bocina en la ciudad de La Paz?
  - d) Excesivo
  - e) Moderado
  - f) Imperceptible
2. ¿Cuáles considera los horarios de mayor caos vehicular?
  - d) Por la mañana de 07:00 a 09:00
  - e) Por la tarde de 12:00 a 14:00
  - f) Por la noche de 18:00 a 20:00
3. ¿Cuáles considera los sectores de mayor caos vehicular?
  - d) Miraflores
  - e) El Prado
  - f) Uyustus
4. ¿Que tipo de vehículos usan con mayor frecuencia la bocina?
  - c) Vehículos de transporte Público
  - d) Vehículos de transporte Privado
5. ¿Hay alguna inspección o control de las bocinas que se realiza en los vehículos del transporte público?
  - c) Si
  - d) No
6. ¿Hay algún tipo de control sobre los niveles de presión sonora de las bocinas?
  - c) Si
  - d) No
7. ¿Es necesario realizar una regulación en las bocinas de los vehículos?
  - c) Si
  - d) No