

# Informe 7: Efecto *Doppler*

Carlos Eduardo Caballero Burgoa

200201226@est.umss.edu

15 de junio de 2021

**Grupo:** J2

**Docente:** Ing. Milka Mónica Torrico Troche

**Carrera:** Ing. Electromecánica

## Resumen

Este documento detalla la medición y el calculo del nivel sonoro representativo en una avenida concurrida de la ciudad de Cochabamba, se tomó muestras de la intensidad sonora con un sonómetro en intervalos de 5 segundos durante 5 minutos; posteriormente se calculó el valor representativo el cual es:  $70.57[dB]$ , y finalmente se analizó a partir de los niveles recomendados de contaminación acústica, los cuidados y peligros a tomarse en cuenta.

## 1. Introducción

Una onda sonora es la propagación gradual de una perturbación caracterizada por una vibración de las moléculas del medio alrededor de sus posiciones de equilibrio (o estado de reposo) como puede observarse en la **Figura ??**.

A continuación de una perturbación, provocada en principio por una fuente mecánica, las moléculas experimentan pequeños cambios de presión (presión acústica). Las moléculas chocan entre ellas para transmitir la deformación (perturbación) sufriendo de esta forma micro-desplazamientos. Estas moléculas vuelven a su posición original cuando pasa la perturbación. El sonido es una propagación de energía en un medio material sin transporte de materia [1].

Las ondas sonoras más sencillas son las sinusoidales (o senoidales), las cuales tienen frecuencia, amplitud y longitud de onda definidas (**Figura ??**).

El oído humano es sensible a las ondas en el intervalo de frecuencias de 20 a 20,000  $[Hz]$ , llamado **gama audible**, pero también usamos el término “sonido” para ondas similares con frecuencias mayores (ultrasónicas) y menores (infrasónicas).

Las ondas sonoras también pueden describirse en términos de variaciones de presión en varios puntos (**Figura ??**). En una onda sonora sinusoidal en el aire, la presión fluctúa por arriba y por debajo de la presión atmosférica  $P_a$  en forma sinusoidal con la misma frecuencia que los movimientos de las partículas de aire. El oído humano funciona detectando estas variaciones de presión. Una onda sonora que entra en el canal auditivo ejerce una presión variable sobre un

lado del tímpano; el aire del otro lado, comunicado con el exterior por la trompa de *Eustaquio*, está a presión atmosférica. La diferencia de presión entre ambos lados del tímpano lo pone en movimiento.

La frecuencia de una onda sonora es el factor principal que determina el tono de un sonido, la característica que permite clasificarlo como “agudo” o “grave”. Cuanto más alta sea la frecuencia de un sonido (dentro de la gama audible), más agudo será el tono percibido. La amplitud de presión también ayuda a determinar el tono. Cuando un receptor compara dos ondas sonoras sinusoidales con la misma frecuencia pero diferente amplitud de presión, la de mayor amplitud suele percibirse más fuerte, pero también con un tono ligeramente más grave [4].

### 1.1. Nivel sonoro

Dado que el sonido produce variaciones de la presión del aire debido a que hace vibrar sus partículas, las unidades de medición del sonido podrían ser las unidades de presión, que en el sistema internacional es el *Pascal* ( $Pa$ ).

$$1[Pa] = 1 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

Sin embargo, el oído humano percibe variaciones de presión que oscilan entre  $20[\mu Pa]$  y  $100[Pa]$ , es decir, con una relación entre ellas mayor de un millón a 1, por lo que la aplicación de escalas lineales es inviable. En su lugar se utilizan las escalas logarítmicas cuya unidad es el decibelio ( $dB$ ) y tiene la siguiente expresión [5]:

$$\beta = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{P}{P_0} \right) [dB]$$

Donde:

Se utiliza esta escala logarítmica porque la sensibilidad que presenta el oído humano a las variaciones de intensidad sonora sigue una escala aproximadamente logarítmica, no lineal. Por ello el belio ( $B$ ) y su submúltiplo el decibelio ( $dB$ ), resultan adecuados para valorar la percepción de los sonidos por un oyente. Se define como la comparación o relación entre dos sonidos porque en los estudios sobre acústica fisiológica se vio que un oyente, al que se le hace escuchar un solo sonido, no puede dar una indicación fiable de su intensidad, mientras que, si se le hace escuchar dos sonidos diferentes, es capaz de distinguir la diferencia de intensidad.

Como el decibelio es una unidad relativa, para las aplicaciones acústicas se asigna el valor de  $0[dB]$  al umbral de audición del ser humano, que por convención se estima que equivale a un sonido con una presión de 20 micropascales, algo así como un cambio de la presión atmosférica normal de  $1/5000000000$ . Aun así, el verdadero umbral de audición varía entre distintas personas y para una misma persona, depende de la frecuencia del sonido. Se considera el umbral del dolor para el humano a partir de los  $140[dB]$ . Esta suele ser, aproximadamente, la medida máxima considerada en aplicaciones de acústica [6].

Pueden apreciarse algunos valores representativos del nivel de intensidad del sonido en la **Figura ??**.

## 1.2. Ruido

No existe una definición inequívoca de ruido. De forma amplia, podemos definir como cualquier sonido no deseado que puede interferir la recepción de un sonido.

Así, el ruido acústico es aquel ruido (entendido como sonido molesto) producido por la mezcla de ondas sonoras de distintas frecuencias y distintas amplitudes. La mezcla se produce a diferentes niveles ya que se conjugan tanto las frecuencias fundamentales como los armónicos que las acompañan. La representación gráfica de este ruido es la de una onda sin forma (la senoide ha desaparecido) [7].

Se llama contaminación acústica o contaminación sonora al exceso de sonido que altera las condiciones normales del ambiente en una determinada zona. Si bien el ruido no se acumula, traslada o perdura en el tiempo como las otras contaminaciones, también puede causar grandes daños en la calidad de vida de las personas si no se controla bien o adecuadamente.

Este término está estrechamente relacionado con el ruido debido a que esta se da cuando el ruido es considerado como un contaminante, es decir, un sonido molesto que puede producir efectos nocivos fisiológicos y psicológicos para una persona o grupo de personas [8].

Un estudio reciente realizado en Suecia, ha determinado que aún a bajos niveles, la generación de ruido vehicular crea molestias, perturbando el sueño por lo que pueden sufrir de insomnio, sobre todo en ciudades más pobladas o de quienes vivan en el área de mayor afluencia de personas.

Se ha documentado cierta relación entre el ruido con los trastornos cardiovasculares; es decir, podría afectarse por la contaminación acústica. La exposición al ruido puede aumentar el riesgo de padecer HTA (Hipertensión arterial), angina de pecho o un infarto agudo de miocardio. Esto se debe a una activación de hormonas nerviosas, que va a provocar el aumento de la tensión arterial o la vasoconstricción, entre otras.

El ruido no solamente puede afectar de manera fisiológica a nuestro organismo, porque además puede aumentar el nivel de estrés o de irritabilidad (sonidos de 80[dB] – 90[dB]), lo que también influye en las actividades mentales como la manera de concentrarse (sonidos con 70[dB]). Existen ciertos efectos negativos que debemos poner énfasis al hablar sobre el ruido y su repercusión en la salud:

**Trastornos auditivos:** En este nivel se puede presenciar dificultades para tener una vida normal, sobre todo en lo que refiere al habla.

**Pérdida de la audición:** No se han establecido datos que reflejen que niveles mayores a 70 dB causen pérdida total de la audición, pero aumentando esta cifra y de manera prolongada la exposición de hasta 8 horas, sí tiene tendencia a padecer de sordera después de un período largo de tiempo.

**Hipoacusia:** Se refiere a la disminución en la capacidad de escuchar los sonidos por debajo de lo normal de manera reversible o por toda la vida. Esto se puede producir ante la intensidad por la que se emite el ruido.

Posterior a estos efectos, la pérdida de la audición no se recupera, aunque no suelen aparecer trastornos en la comunicación, pero si la constante exposición al ruido continua, estas lesiones se pueden extender hasta las células sensoriales, las cuales van a captar las ondas de frecuencias óptimas a las de 4000 ciclos por segundo, iniciándose así un deterioro en la habilidad de comunicación.

Es importante que la población cree conciencia sobre los efectos de los sonidos altos y la influencia de estos en nuestra salud [9].

### 1.3. Normativa vigente

Bolivia tiene aprobada la **Ley 1333** de medio ambiente (véase **Apéndice A**), con su respectiva reglamentación. El **Reglamento 24176** en materia de contaminación atmosférica hace alusión a la contaminación acústica mediante el **Anexo 6** (véase **Apéndice B**), donde se expresa que “El límite máximo permisible de emisión de ruido en fuentes fijas es de  $68[dB(A)]$  de las seis a las veintidós horas, y de  $65[dB(A)]$  de las veintidós a las seis horas.”, refrendado por la **Ordenanza Municipal N° 2228/98** en el municipio de Cochabamba.

Donde el decibelio ( $A$ ), conocido como  $dB(A)$ , es el decibelio medido en una banda de sonido audible, aplicable a seres humanos.

Para la medición se tomara el valor del nivel sonoro durante 5 minutos a intervalos de 5 segundos en una avenida de la ciudad de Cochabamba, con los datos tomados, se calculará el nivel sonoro equivalente. Finalmente se analizará si las normativas vigentes están siendo cumplidas y las recomendaciones a tomarse en cuenta.

## 2. Método experimental

Para facilitar la medición se ha utilizado un sonómetro instalado en un móvil *Android*, llamada: **Sonómetro (Sound Meter)**, como puede verse en la **Figura ??**.

Una vez localizado en el lugar de medición, se procederá a grabar la pantalla del móvil durante 7 minutos, y se arrancara la medición con la aplicación. Una vez terminada la medición se analizará el vídeo para conocer el nivel sonoro cada 5 segundos durante 5 minutos.

Una vez medidos los datos, se procederá a graficar el nivel sonoro vs. tiempo, y con la ayuda de una *software matemático* se determinara el área que se encuentra bajo la curva interpolada.

Para determinar el nivel sonoro equivalente  $L_{eq}$  se utilizará la siguiente ecuación:

$$L_{eq} = \frac{A_{total}}{t}$$

Finalizando con el análisis del valor equivalente obtenido, según las normativas vigentes en el país, y municipio.

**Condiciones de la medición:**

<b>Lugar de registro</b>	Avenida Blanco Galindo. Km. 4 ½
<b>Fecha de registro</b>	2021-05-25
<b>Hora de registro</b>	Desde 16:32:00 hasta 16:37:00
<b>Nivel sonoro permitido</b>	68 [dB(A)]

**Croquis de ubicación:**

La ubicación geográfica de la medición realizada puede apreciarse en la **Figura ??**.

**Datos tomados en la medición:**

En el **Cuadro 1**, se pueden ver los valores medidos del nivel sonoro.

$i$	$t_i[s]$	$L_i[dB]$	$i$	$t_i[s]$	$L_i[dB]$	$i$	$t_i[s]$	$L_i[dB]$
1	0	67.4	21	100	69.9	41	200	69.6
2	5	67.4	22	105	66.6	42	205	68.8
3	10	65.1	23	110	65.8	43	210	70.6
4	15	67.2	24	115	71.5	44	215	60.6
5	20	69.3	25	120	65.4	45	220	67.2
6	25	65.8	26	125	61.1	46	225	72.3
7	30	69.5	27	130	66.2	47	230	72.0
8	35	70.3	28	135	66.0	48	235	68.0
9	40	72.5	29	140	71.7	49	240	69.3
10	45	84.0	30	145	70.6	50	245	69.5
11	50	77.2	31	150	66.6	51	250	79.6
12	55	77.6	32	155	70.2	52	255	66.8
13	60	74.6	33	160	69.8	53	260	73.0
14	65	78.8	34	165	74.2	54	265	68.9
15	70	76.4	35	170	81.7	55	270	74.2
16	75	71.5	36	175	79.3	56	275	84.4
17	80	71.3	37	180	74.0	57	280	74.0
18	85	71.4	38	185	69.7	58	285	82.5
19	90	84.5	39	190	69.4	59	290	75.7
20	95	81.6	40	195	72.5	60	295	72.2

**Cuadro 1:** Mediciones de nivel sonoro durante 5 minutos cada 5 segundos.

**Nota:** Elaboración propia.

### 3. Resultados

A partir de los datos obtenidos y con la ayuda de *Matlab* (véase **Apéndice C**) se genera la gráfica de la **Figura ??**, además de realizar una interpolación polinómica y calcular el área bajo la curva de tal función en el intervalo  $[0, 295]$ . Resultando ser:

$$A_{total} = 2.1172 \times 10^4 [dB s]$$

$$t = 300 [s]$$

$$L_{eq} = \frac{A_{total}}{t} = 70.5735 [dB]$$

El valor hallado supera ligeramente el máximo para fuentes fijas, pero no así para fuentes móviles; además considerando la tolerancia de 10 % permitida por el reglamento, el ruido en el sitio escogido se encuentra en los márgenes aceptables.

### 4. Discusión

La fiabilidad de una medida de ruido realizada con un móvil puede ser muy baja. Su precisión depende fundamentalmente de tres factores:

- La calidad del micrófono (que suele ser mejor en teléfonos de gama alta).
- La calibración del micrófono (existen algunas *apps* que permiten realizarla).
- La exactitud del software (la aplicación empleada).

Estos tres factores por si solos pueden desvirtuar significativamente una medición de ruido realizada con el móvil. A ellos hay que sumar otros dos que sólo pueden realizarse con cálculos y programas específicos: la corrección del ruido de fondo (mayor en entornos ruidosos) y las penalizaciones por los valores elevados de diferentes componentes del ruido (muy habituales en mediciones de todo tipo de máquinas) y que pueden suponer un incremento de  $9 [dB]$  sobre los valores medidos.

En conclusión se debe tomar con mucha precaución los valores de medida obtenidos con un móvil, más cuando estos estén cercanos a los valores límites permitidos [12].

### 5. Conclusiones

Se halló el valor representativo de la medición, resultando este un valor mayor por menos de  $2 [dB]$  al máximo permitido para fuentes de ruido fijo. Pero siendo menor a todos los valores de fuentes móviles del reglamento.

### Referencias

- [1] Sonido: Generalidades.  
Extraído el 25 de Mayo del 2021, de:  
<https://www.cochlea.eu/es/sonido>.

- [2] Pérez Vega, Constantino.  
El sonido y la audición.  
Universidad de Cantabria.  
Extraído el 25 de Mayo del 2021, de:  
<https://personales.unican.es/perezvr/pdf/sonido%20y%20audicion.pdf>.
- [3] Nociones básicas sobre acústica musical.  
Extraído el 25 de Mayo del 2021, de:  
<https://miguelmorateorganologia.wordpress.com/nociones-basicas-de-acustica-musical/>.
- [4] Young, Hugh D. y Freedman, Roger A. (2013).  
Física Universitaria. Volumen 1.  
13va Edición.  
Capítulo 16. Sonido y oído
- [5] Superintendencia de riesgos del trabajo.  
El ruido en el ambiente laboral.  
Extraído el 25 de Mayo del 2021, de:  
[https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2016/08/Guia\\_practica\\_2\\_Ruido\\_2016.pdf](https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2016/08/Guia_practica_2_Ruido_2016.pdf).
- [6] Decibelio.  
Extraído el 25 de Mayo del 2021, de:  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Decibelio>.
- [7] Ruido acústico.  
Extraído el 25 de Mayo del 2021, de:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Ruido\\_ac%C3%B3stico](https://es.wikipedia.org/wiki/Ruido_ac%C3%B3stico).
- [8] Contaminación acústica.  
Extraído el 25 de Mayo del 2021, de:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n\\_ac%C3%B3stica](https://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_ac%C3%B3stica).
- [9] Peligros del ruido y sus efectos en nuestra salud.  
Extraído el 25 de Mayo del 2021, de:  
<https://www.elsevier.com/es-es/connect/actualidad-sanitaria/efectos-negativos-del-ruido-y-su-repercusion-en-nuestra-salud>.
- [10] Ley del medio ambiente.  
Publicada en la Gaceta Oficial de Bolivia el 15 de Junio 1992.  
Extraído el 25 de Mayo del 2021, de:  
[http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/bolivia/bolivia\\_1333.pdf](http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/bolivia/bolivia_1333.pdf).
- [11] Límites permisibles de emisión de ruido.  
Extraído el 25 de Mayo del 2021, de:  
<http://museonoelkempff.org/sitio/ACC/Informacion/info/Normas/LimitesPermisiblesEmisionRuido.pdf>.
- [12] Mediciones acústicas.  
Extraído el 25 de Mayo del 2021, de:  
<https://www.allpe.com/acustica/ingenieria-acustica/mediciones-acusticas/>

## Apéndice A: Ley No. 1333

A continuación se detallan todas las consideraciones referentes al ruido en la Ley No. 1333. Ley del medio ambiente promulgada el 27 de Abril de 1992 y publicada en la Gaceta Oficial de Bolivia el 15 de Junio 1992.

### 1. Ley de medio ambiente.

**Título IV:** De los recursos naturales en general.

**Capítulo III:** Del aire y la atmósfera.

**Artículo 42º.-** El Estado, a través de sus organismos competentes, establecerá, regulará y controlará los niveles de ruidos originados en actividades comerciales, industriales, domésticas, de transporte u otras a fin de preservar y mantener la salud y el bienestar de la población.

### 2. Reglamento general de gestión ambiental.

**Título III:** De la información ambiental.

**Capítulo VI:** Del sistema nacional de información ambiental.

**Artículo 30º.-** Los elementos principales del medio ambiente que deben ser recogidos por los centros de información ambiental serán los que estén relacionados, entre otros, con el estado de las aguas superficiales y subterráneas, el aire, el suelo, la fauna, la flora, el paisaje, el ruido, los ecosistemas en general.

Para, ello la red nacional y los centros de información ambiental deberán:

- (a) Promover la realización de estudios y sistematizar la información que reciban;
- (b) Analizar periódicamente la evolución de la contaminación y degradación del medio ambiente;
- (c) Procesar la información obtenida a fin de proporcionarla a las personas naturales o colectivas, públicas o privadas, que la soliciten.

### 3. Reglamento de prevención y control ambiental.

**Título III:** De la evaluación de impacto ambiental.

**Capítulo III:** De la ficha ambiental.

**Artículo 22º.-** El contenido de la FA refleja aspectos relacionados al proyecto, obra o actividad, tales como:

- Generación de residuos, de ruido, almacenamiento y manejo de insumos, posibles accidentes y contingencias.

### 4. Reglamento de prevención y control ambiental.

**Título IV:** Del procedimiento de evaluación de impacto ambiental.

**Capítulo V:** De la declaratoria de impacto ambiental.

**Artículo 85º.-** La Autoridad Ambiental Competente decidirá no conceder la DIA, con la justificación legal y técnica respectiva, si el proyecto obra o actividad:

- Significa la generación o el incremento sinérgico de concentraciones de contaminantes del aire, el incremento a niveles inadmisibles del ruido y olores, o la degradación significativa de la calidad del agua.



## Apéndice B: Anexo 6: Límites permisibles de emisión de ruido <sup>1</sup>

La unidad práctica de medición del nivel de ruido es el decibelio, conocido como  $dB$ .

Esta unidad es igual a 20 veces el logaritmo decimal del cociente de la presión de sonido ejercida por un sonido medido, y la presión de sonido de un sonido *estándar* (equivalente a 20 micropascales).

El decibelio ( $A$ ), conocido como  $dB(A)$ , es el decibelio medido en una banda de sonido audible, aplicable a seres humanos.

### 1. Límites permisibles de emisión de ruido proveniente de fuentes fijas.

El límite máximo permisible de emisión de ruido en fuentes fijas es de  $68[dB(A)]$  de las seis a las veintidós horas, y de  $65[dB(A)]$  de las veintidós a las seis horas.

Estos valores deben ser medidos en forma continua o semicontinua en las colindancias del predio, durante un lapso no menor de quince minutos.

Asimismo se debe considerar un límite máximo permisible de emisión de ruido de  $115[dB(A)]$  mas o menos  $3[dB(A)]$  durante un lapso no mayor a quince minutos y un valor de  $140[dB(A)]$  durante un lapso no mayor de un segundo.

Las fuentes fijas que se localicen en las áreas cercanas a centros hospitalarios, guarderías, escuelas, asilos y otros lugares de descanso, no deben rebasar el límite máximo permisible de emisión de ruido de  $55[dB(A)]$ .

La instalación de aparatos amplificadores de sonido y otros dispositivos similares en la vía pública, será autorizada únicamente por la autoridad competente, cuando el ruido no exceda un nivel de  $75[dB(A)]$ .

Para la construcción de aeropuertos, aeródromos y helipuertos públicos y privados, las autoridades competentes deben tener en cuenta la opinión de la Secretaría Nacional de Salud.

### 2. Límites permisibles de emisión de ruido provenientes de fuentes móviles.

El límite máximo permisible de emisión de ruido en fuentes móviles se aplicará de acuerdo a la siguiente tabla.

---

<sup>1</sup>Los valores de este Anexo permiten una variación de hasta +10 %

<b>Peso bruto de vehículo</b>	<b>Hasta 3000 [kg]</b>	<b>De 3000 [kg] a 100000 [kg]</b>	<b>Mayor a 10000 [kg]</b>
Limite máximo permisible en $[dB(A)]$	79	81	84

Estos valores deben ser medidos a  $15[m]$  de distancia de la fuente.

Para motocicletas, triciclos y cuatriciclos motorizados, el límite máximo permisible de la emisión de ruido es de  $84[dB(A)]$  y debe ser medido a  $7.5[m]$  de distancia de la fuente.

## Apéndice C: Cálculos realizados en *Matlab*

A continuación se presenta el código implementado en el programa *Matlab* para la generación de la gráfica, la interpolación polinómica de los datos, y el calculo del área bajo la curva.

## **Apéndice D: Toma de datos**