

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**“EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO OCUPACIONAL EN  
LA PLANTA DE RECICLAJE DE LA MUNICIPALIDAD DE LA  
MOLINA”**

Presentada por:

**CARLOS GABRIEL ARGÜERO FLORES**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Lima – Perú

**2024**

---

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

# Tesis SA

## INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[repositorio.unican.es](https://repositorio.unican.es)

Fuente de Internet

1%

2

[manualzz.com](https://manualzz.com)

Fuente de Internet

1%

3

[ridum.umanizales.edu.co](https://ridum.umanizales.edu.co)

Fuente de Internet

1%

4

[riudg.udg.mx](https://riudg.udg.mx)

Fuente de Internet

1%

5

[repositorio.uax.es](https://repositorio.uax.es)

Fuente de Internet

<1%

6

[www.revistas.unitru.edu.pe](https://www.revistas.unitru.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

7

[repositorio.unsa.edu.pe](https://repositorio.unsa.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

8

[digibug.ugr.es](https://digibug.ugr.es)

Fuente de Internet

<1%

9

[repositorio.utc.edu.ec](https://repositorio.utc.edu.ec)

Fuente de Internet

<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO OCUPACIONAL EN  
LA PLANTA DE RECICLAJE DE LA MUNICIPALIDAD DE LA  
MOLINA”**

Presentada por:

**CARLOS GABRIEL ARGÜERO FLORES**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

---

Mg. Sc. Miguel Angel Quevedo Beltrán

PRESIDENTE

---

Lic. Fis. Juan Manuel Pesantes Rojas

MIEMBRO

---

Ph.D. Haline Heidinger Abadia

MIEMBRO

---

Ph.D Diego Alejandro Sotomayor Melo

ASESOR

## **DEDICATORIA**

*A mi familia, especialmente a mi madre y mis hermanos, por haberme apoyado durante mi formación personal y profesional.*

*También dedicado a mi abuelo (Q.E.P.D.), quien siempre se preocupó por mí y que fue una inspiración para toda la familia.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Un agradecimiento especial al p.H.D. Diego Alejandro Sotomayor Melo, por apoyarme sobre el tema de investigación de ruido ocupacional y afrontar este reto desconocido juntos, también por la asesoría y compromiso durante el desarrollo de la tesis.*

*A los docentes de la Universidad Nacional Agraria La Molina por la formación académica durante mi etapa universitaria.*

*A mis compañeros de universidad que siempre me respaldaron con conocimiento y consejos.*

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	viii
ABSTRACT .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1. El sonido.....	4
2.2. Propiedades de las ondas sonoras.....	4
2.2.1. Periodo.....	4
2.2.2. Frecuencia.....	5
2.2.3. Velocidad.....	5
2.2.4. Amplitud.....	5
2.2.5. Longitud de onda .....	6
2.3. Ruido .....	6
2.4. Decibel.....	7
2.5. Ruido ambiental .....	7
2.6. Nivel de presión sonora.....	7
2.7. Ponderación A .....	8
2.8. Ponderación C .....	9
2.9. Nivel de presión sonora continua equivalente.....	9
2.10. Ruido ocupacional.....	10
2.10.1. Límite de exposición .....	10
2.10.2. Confort acústico.....	10
2.10.3. Tiempo ponderado promedio.....	11
2.10.4. Tasa de intercambio.....	12
2.10.5. Dosis de ruido .....	12
2.10.6. Equipo de protección personal .....	12

2.10.7. Controles administrativos .....	13
2.10.8. Controles de ingeniería.....	13
2.10.9. Nivel de reducción de ruido.....	13
2.10.10. Nivel efectivo de protección.....	13
2.10.11. Normativa nacional.....	14
2.10.12. Normativa internacional .....	15
2.10.13. Efectos a la salud .....	18
2.11. Planta de reciclaje.....	20
III. METODOLOGÍA .....	22
3.1. Área de estudio.....	22
3.1.1. Antecedentes.....	22
3.1.2. Ubicación.....	23
3.1.3. Permiso y acceso .....	23
3.1.4. Materiales .....	24
3.2. Niveles de ruido según la R.M N° 375-2008-TR .....	24
3.2.1. Ruido ocupacional .....	26
3.2.2. Ruido ambiental.....	27
3.3. Cuestionario sobre el confort acústico .....	28
3.4. Comparación de los niveles de ruido y puntos de muestreo .....	30
3.4.1. Prueba de Wilcoxon.....	31
3.4.2. Prueba de Kruskal-Wallis.....	31
3.4.3. Prueba de comparación múltiple .....	31
3.5. Relación de ruido ocupacional y dosimetría .....	31
3.6. Evaluación de zonas que requieren dispositivos de atenuación convencional.....	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	36
4.1. Niveles de ruido según la R.M N° 375-2008-TR .....	36

4.1.1.	Ruido ocupacional .....	36
4.1.2.	Ruido ambiental.....	38
4.2.	Análisis del cuestionario sobre confort acústico .....	39
4.2.1.	A: Identificación de efectos sobre el trabajador .....	39
4.2.2.	B: Factores de riesgo .....	42
4.3.	Prueba de hipótesis .....	49
4.3.1.	Prueba de Wilcoxon.....	49
4.3.2.	Prueba de Kruskal-Wallis.....	49
4.3.3.	Prueba de comparación múltiple .....	49
4.4.	Comparación de niveles de ruido y cuestionario.....	51
4.5.	Relación ruido ocupacional y dosimetría .....	54
4.6.	Evaluación de zonas que requieren dispositivos de atenuación convencional.....	55
V.	CONCLUSIONES .....	58
VI.	RECOMENDACIONES.....	59
VII.	BIBLIOGRAFÍA .....	60
VIII.	ANEXOS .....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Nivel de ruido de acuerdo al nivel de exposición en horas.....	14
Tabla 2: Exposiciones de ruido permitidas .....	16
Tabla 3: Combinaciones de niveles de exposición al ruido y duraciones que la exposición de ningún trabajador debe igualar o exceder .....	17
Tabla 4: Coordenadas y descripción de las estaciones de ruido .....	26
Tabla 5: Nivel de presión sonora equivalente en 8 horas de acuerdo a la estación .....	36
Tabla 6: Prueba de hipótesis para cada comparación entre todas las estaciones .....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vibración de un diapasón .....	5
Figura 2. Representación de la longitud de una onda sonora.....	6
Figura 3. Tabla de nivel de sonido en puestos de trabajo y cotidianos .....	8
Figura 4. Curvas de ponderación A, B y C .....	9
Figura 5. Ubicación de la planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina .....	23
Figura 6. Ubicación espacial de las estaciones de ruido en la Planta de reciclaje de la Municipalidad de La Molina.....	25
Figura 7. Esquema de actuación.....	29
Figura 8. Niveles de presión sonora continuo equivalente en un periodo de 8 horas por estación.....	37
Figura 9. Niveles de presión sonora continuo equivalente en la estación RA-1.....	38
Figura 10. Niveles de presión sonora continuo equivalente en la estación RA-1.....	39
Figura 11. Distribución de los encuestados según el grado de molestia .....	40
Figura 12. Distribución de los encuestados según el grado de perturbación de la concentración.....	41
Figura 13. Distribución de los encuestados según la interferencia en la comunicación de acuerdo a la pregunta.....	42
Figura 14. Distribución de los encuestados según las características de las tareas realizadas .....	43
Figura 15. Distribución de los encuestados según las características de las tareas realizadas .....	44
Figura 16. Distribución de los encuestados según las fuentes de ruido .....	44
Figura 17. Distribución de los encuestados según la forma de ruido de acuerdo al grado de molestia.....	45
Figura 18. Distribución de los encuestados según las fuentes de ruido .....	46

Figura 19. Distribución de los encuestados según el ruido procedente de las personas .....	47
Figura 20. Distribución de los encuestados según el ruido de los equipos de trabajo ..	48
Figura 21. Distribución de los encuestados según mantenimiento en el lugar de trabajo .....	48
Figura 22. Porcentaje de dosis de ruido diaria (D) por estación .....	55
Figura 23. Descripción técnica de los tapones 3M “1100” .....	56
Figura 24. Niveles de presión sonora continuo equivalente en un periodo de 8 horas en la estación PR-1 sin tapones auditivos y con el uso de tapones auditivos.....	56
Figura 25. Porcentaje de dosis de ruido diaria (D) en la estación PR-1 sin tapones auditivos y con el uso de tapones auditivos .....	57

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Permiso y acceso.....	66
Anexo 2: Equipos de trabajo .....	68
Anexo 3: Certificado de calibración.....	70
Anexo 4: Registro fotográfico .....	71
Anexo 5: Cuestionario sobre confort acústico del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.....	80
Anexo 6: Análisis estadístico .....	90
Anexo 7: Mediciones de monitoreo de ruido .....	97
Anexo 8: Tapones auditivos 3M “1100” .....	104

## RESUMEN

Este estudio investigó la exposición al ruido ocupacional en la planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina. El objetivo principal fue el de identificar los niveles de presión sonora equivalentes en 8 horas ( $L_{A\text{ Ex.8h}}$ ) en estaciones de ruido dentro de la planta de reciclaje, donde se analizaron los posibles impactos del ruido en los trabajadores y se compararon los valores con los estándares de exhibición recomendados a nivel nacional e internacional. Las mediciones de los niveles de ruido en las estaciones de trabajo arrojaron los siguientes resultados: PR-1 (86,9 dB(A)), PR-2 (76,4 dB(A)), PR-3 (72,2 dB(A)), PR-4 (69,3 dB(A)), PR-5 (67,1 dB(A)) y PR-6 (82,2 dB(A)). En complemento, una encuesta realizada mostró que el ruido ocupacional en las estaciones de trabajo está causando molestias significativas a una parte de la población trabajadora, según la percepción del personal de los trabajadores y la magnitud del ruido en las estaciones de ruido. Se detectó que en los niveles de ruido en la estación PR-1 exceden los valores respecto a la R.M. N° 375-2008-TR “Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico”, con una dosis diaria de 155,7% ya que, en la base de la faja transportadora se genera constantemente el impacto entre materiales de vidrio. Para abordar esta situación, se analizó el uso de dispositivos de atenuación convencional, como tapones auditivos. La implementación de estos tapones permitiría reducir el nivel de presión sonora equivalentes en 8 horas ( $L_{A\text{ Ex.8h}}$ ) en la estación PR-1 a 75,9 dB(A) y disminuir la dosis de ruido diario a 12,3%. En conclusión, este estudio resalta la urgencia de tomar medidas para controlar el ruido ocupacional en la planta de reciclaje de La Molina. Se recomienda implementar dispositivos de atenuación y establecer medidas preventivas, como controles administrativos y de ingeniería, para proteger la salud auditiva y el bienestar de los trabajadores. Por lo tanto, el uso de tapones auditivos es esencial para mejorar el ambiente laboral y garantizar condiciones de trabajo seguras y saludables en la planta de reciclaje.

**Palabras clave:** Ruido ocupacional, Dosis, Tapones auditivos, Planta de reciclaje

## ABSTRACT

This study investigated occupational noise exposure at the recycling plant of the municipality of La Molina. The main objective is to identify the equivalent sound pressure levels in 8 hours ( $L_{A\text{ Ex.8h}}$ ) in these noise stations, where the possible impacts of noise on workers were analyzed and the values were compared with the recommended exhibition standards at the national and international level. The measurements of the noise levels in the work stations yielded the following results: PR-1 (86.9 dB(A)), PR-2 (76.4 dB(A)), PR-3 (72.2 dB(A)), PR-4 (69.3 dB(A)), PR-5 (67.1 dB(A)), and PR-6 (82.2 dB(A)). In addition, a survey carried out showed that occupational noise at work stations is causing significant discomfort to a portion of the working population, based on staff perception of workers and the magnitude of noise at noise stations. It was detected that at station PR-1 it exceeded the maximum permissible limit in national and international standards, with a daily dose of 155.7%. To address this situation, the use of conventional attenuation devices, such as earplugs, was explored. The implementation of these plugs would reduce the equivalent sound pressure level in 8 hours ( $L_{A\text{ Ex.8h}}$ ) at the PR-1 station to 75.9 dB(A) and reduce the daily noise dose to 12.3%. In conclusion, this study highlights the urgency of taking measures to control occupational noise at the La Molina recycling plant. It is recommended to implement attenuation devices and establish preventive measures, such as administrative and engineering controls, to protect the hearing health and well-being of workers. Therefore, the use of earplugs is essential to improve the work environment and ensure safe and healthy working conditions in the recycling plant.

**Keywords:** Occupational noise, Dose, Earplugs, Recycling Plant

## I. INTRODUCCIÓN

Principalmente desde la revolución industrial, el hombre ha estado expuesto continuamente a una serie de contaminantes nocivos para la salud. Uno de estos agentes contaminantes de mayor magnitud es el ruido, el cual podemos encontrar en diferentes escenarios de nuestro día a día, generado por el crecimiento de la actividad industrial, es decir la mecanización de procesos para resultados más eficientes. El problema es que cada día mayor es la cantidad de trabajadores que son expuestos a altos niveles de ruido producidos por una maquinaria de su ámbito laboral, lo cual nos deja expuestos a padecer por ejemplo la pérdida de la audición (Landeras, 2019).

La tecnología y modernización conlleva a incorporar nuevos procesos, como procesos industriales que claramente son parte de una civilización moderna pero también más ruidosa. La industrialización brinda un gran número de factores positivos como el aumento de empleos, aumento de salario, entonces una mejor economía; ahora no todo es positivo, lamentablemente, el efecto negativo daña de manera directa la salud de los trabajadores, ya que están sometidos a altos niveles de ruido durante su jornada laboral (Velasco, 1998).

La contaminación acústica es una de las formas de contaminación más común, especialmente en un ámbito ciudadano, ya que existen diversas fuentes de presión sonora o ruido que contribuyen a este tipo de contaminación en ámbitos urbanos de manera cualitativa y cuantitativa (Miyara, 2004). Además, es un peligro en la mayoría de lugares en el ámbito laboral y puede llegar a generar un efecto permanente en los trabajadores expuestos a él (Luan, Doutres, Néllisse, & Sgard, 2021).

El ruido ocupacional es considerado como uno de los peligros ocupacionales más comunes en todo el mundo (Teixeira et al., 2019). Incluso se ha reportado que alrededor de 600 millones de trabajadores a nivel mundial están expuestos al ruido ocupacional (Daniel, 2007). La exposición a largo plazo a un alto nivel de ruido no solo se asocia con la pérdida auditiva (Skoe & Tufts, 2018; Le, Straatman, Lea & Westerberg, 2017), sino también en la perturbación del sueño (Lin et al., 2018), enfermedades cardiovasculares

(Sorensen & Pershagen, 2019; Wang et al., 2021), aumento en la presión sanguínea y alteración genética del ADN (Hosseinabadi, Khanjani, Münzel, Daiber & Yaghmorloo, 2019). Muchos trabajadores están expuestos a niveles de ruido por encima de la normativa, principalmente en industrias como la agricultura, silvicultura, pesca y caza para el límite máximo permisible basados en la Departamento de Trabajo de Estados Unidos, la Agencia de Salud y Seguridad Laboral (por sus siglas en inglés OSHA) (Sayler et al., 2018), así como el personal de trabajo de bares en una discoteca (Fleming, 1995).

El proyecto se llevó a cabo en una planta de reciclaje de la Municipalidad de La Molina, que cuenta con una faja transportadora y varios puntos de segregación, que dependen del tipo de residuo sólido inorgánico, ya sea vidrio, plástico, hojas, cartón, latas, etc. La planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina recicla alrededor de 70 toneladas mensuales de residuos sólidos inorgánicos aproximadamente. Este proceso requiere una exposición constante al ruido generado por el transporte de los residuos, la disposición de ellos en la faja transportadora, la fuerte comunicación entre los trabajadores por el ruido y distancia entre ellos, además de una compresora. Esto resulta en una exposición peligrosa al ruido durante el periodo de trabajo (8:00 – 17:00).

Es por ello que, para puntos donde se tienen valores cercanos al límite o superiores a este, se podría recomendar la implementación del uso de dispositivos de atenuación convencional como tapones, a pesar de que su uso no es común en nuestro país; lo que presentará beneficios como reducción de estrés y menor pérdida auditiva a largo plazo (Suter, 2012).

El objetivo de esta tesis fue determinar el nivel de ruido ocupacional en los distintos ambientes de la planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina. Para alcanzar este objetivo se siguieron los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar los niveles de presión sonora equivalentes obtenidos con respecto a la R.M. N° 375-2008-TR “Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico” para la planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina y compararlos con el cuestionario sobre confort acústico.
- Evaluar la relación que existe entre el ruido ocupacional y la dosimetría en la planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina.
- Determinar las zonas de la planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina en las cuales sería necesario la utilización de dispositivos de atenuación convencional y de qué tipo dependiendo de la magnitud de presión sonora equivalente.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. El sonido

El sonido es una alteración física en un medio (ya sea gas, líquido o sólido) que puede ser percibida por el oído humano. El medio por el cual viajan las ondas sonoras debe tener masa y elasticidad, entonces, estas ondas no viajan a través del vacío (Harris, 1995).

Existe una percepción objetiva del sonido que corresponde a un fenómeno físico y también una subjetiva, cuya percepción la posee cada persona de manera particular, dependientemente del estado del órgano de audición (Suasaca, 2014).

### 2.2. Propiedades de las ondas sonoras

Las ondas sonoras son ondas mecánicas, que pueden ser definidas por propiedades como: periodo, frecuencia, velocidad, amplitud y longitud de onda (Harris, 1995).

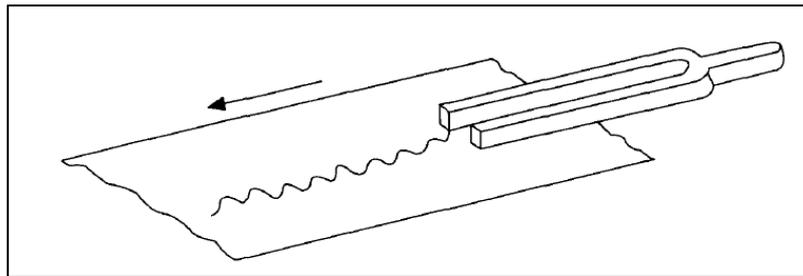
#### 2.2.1. Periodo

El periodo es el tiempo que se necesita para completar una oscilación (ciclo repetitivo), frecuentemente representado por la letra T, el cual es medido en segundos y se relaciona de manera inversamente con la frecuencia (Murphy & King, 2014).

$$f = \frac{1}{T} \text{ (Hz)}$$

### 2.2.2. Frecuencia

La frecuencia de una onda sonora es definida como el número de veces que este fenómeno se repite en un segundo (el número de ciclos por segundo). Frecuentemente, es designado mediante Hertz (Hz). Por ejemplo, los extremos del diapasón, instrumento metálico usado para afinar instrumentos musicales que presenta una frecuencia determinada, presentados en la **Figura 1** realizan 440 oscilaciones completas en un segundo. Entonces, su frecuencia de vibración es de 440 Hz (Harris, 1995).



**Figura 1.** Vibración de un diapasón. Sobre el papel encerado se traza una onda sinusoidal que se mueve a través de la plumilla a velocidad constante. Adaptado de “Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido” por Harris, C. M., 1995, McGraw Hill. Copyright 1995 por McGraw Hill.

### 2.2.3. Velocidad

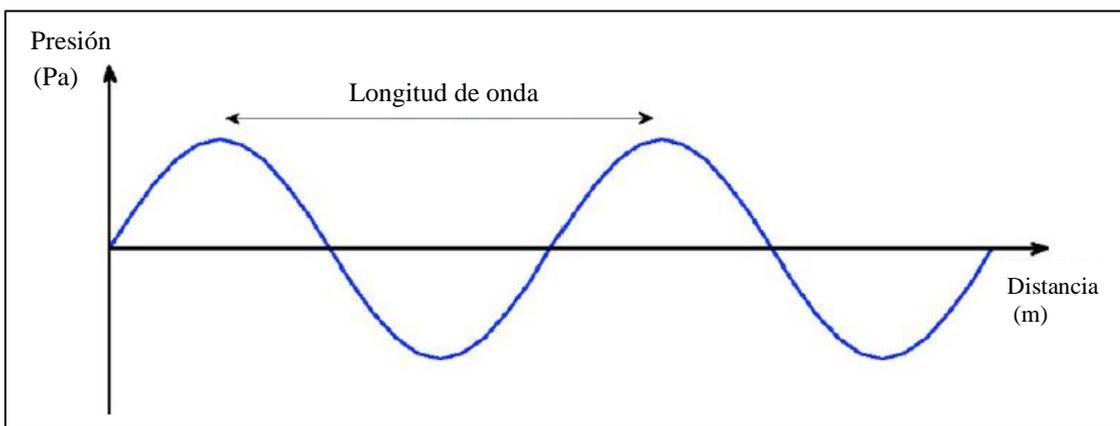
La velocidad del sonido es la velocidad a la cual se transportan las ondas sonoras, para el caso de éstas en el aire, la velocidad del sonido por lo general oscila entre 330 m/s y los 345 m/s. También, la velocidad depende de la temperatura del aire, humedad y presión atmosférica, 344 m/s es la aproximación más usual para la velocidad del sonido a 20 °C de temperatura y a 1 atm de presión (Suasaca, 2014).

### 2.2.4. Amplitud

Es el valor máximo del movimiento de una onda (Quintero, 1999). A mayor amplitud mayor será la sensación auditiva, por lo tanto, los sonidos con mayor amplitud tienen una mayor intensidad, se mide en Pascal (Suasaca, 2014).

### 2.2.5. Longitud de onda

De acuerdo con Murphy & King (2014), la longitud de onda es la distancia (medida en metros) recorrida por una onda durante una oscilación, está representado por  $\lambda$ . Si graficamos una onda en el dominio del espacio en lugar del dominio del tiempo, como se observa en la **Figura 2** (es decir, la distancia se grafica en el eje horizontal en lugar del tiempo, para investigar cómo cambia la onda en el espacio), la longitud de onda es similar al periodo, T. La longitud de onda se puede medir entre dos picos positivos sucesivos en el ciclo y corresponde al tamaño físico de una onda.



**Figura 2.** Representación de la longitud de una onda sonora. Pa = Pascal, m = Metros. Adaptado de “Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy” por Murphy, E., & King, E. A., 2014, Elsevier. Copyright 2014 por Elsevier.

### 2.3. Ruido

El ruido puede ser identificado como un sonido no deseado, el cual es un peligro físico y riesgo ambiental que amenaza la salud de los habitantes y provoca enfermedades en la población (European Commission, Directorate-General for Environment, 2016). De acuerdo a nuestra normativa nacional el ruido es definido como sonido no deseado que moleste, perjudique o afecte a la salud de las personas (Presidencia del Consejo de Ministros, 2003).

## 2.4. Decibel

La unidad utilizada para expresar la intensidad del sonido. El decibel (dB) o decibelio lleva el nombre de Alexander Graham Bell. La escala de decibelios es una escala logarítmica en la que 0 dB se aproxima al umbral de audición en las frecuencias medias para adultos jóvenes y en la que el umbral de molestia está entre 85 y 95 dB y el umbral de dolor está entre 120 y 140 dB (Franks, Stephenson, & Merry, 1996).

## 2.5. Ruido ambiental

El ruido ambiental es el ruido emitido por las fuentes como tráfico vehicular, trenes, barcos, industrias en general, servicios públicos, etc; excepto el ruido generado por el ambiente laboral, que es denominado ruido ocupacional (Berglund, Lindvall & Schwela, 1999). De acuerdo con nuestro protocolo nacional, ruido ambiental son todos aquellos sonidos que puede provocar molestias fuera del recinto o propiedad que contiene a la fuente emisora (MINAM, 2011).

## 2.6. Nivel de presión sonora

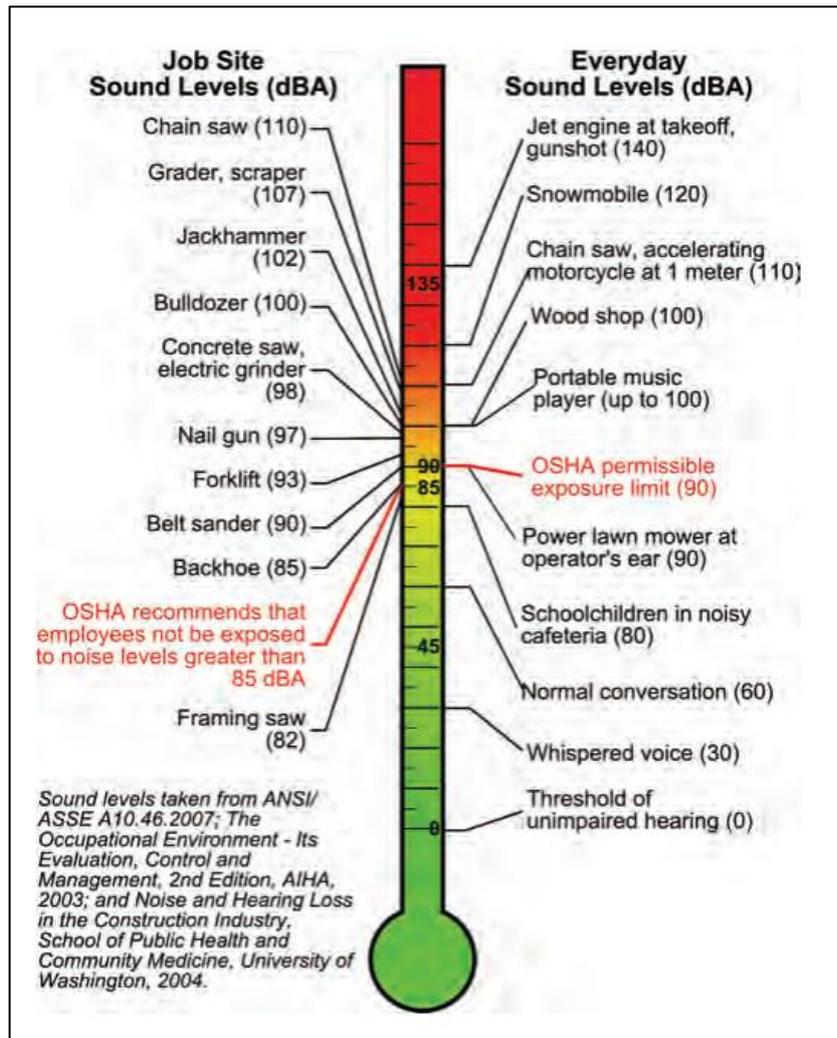
El nivel de presión sonora ( $L_p$ ) es una medida de la intensidad o el volumen del sonido. Se expresa en decibelios (dB) y se utiliza para cuantificar y comparar diferentes niveles de ruido ocupacional (International Organization for Standardization, 2016). El logaritmo de la relación entre una presión de sonido dada y la presión de sonido de referencia en dB es 20 veces el logaritmo en base diez de la relación, donde varía entre 0 dB (umbral de audición) y 140 dB (umbral de dolor) (World Health Organization, 2018). En la **Figura 3** se presenta la equivalencia de los niveles de presión sonora a en puestos de trabajos y niveles de presión sonora cotidianos.

$$L_p = 10 \text{ Log} \left( \frac{P}{P_0} \right)^2$$

Donde:

Po: Presión sonora de referencia ( $20 \cdot 10^{-6}$  Pa)

P: Presión sonora instantánea



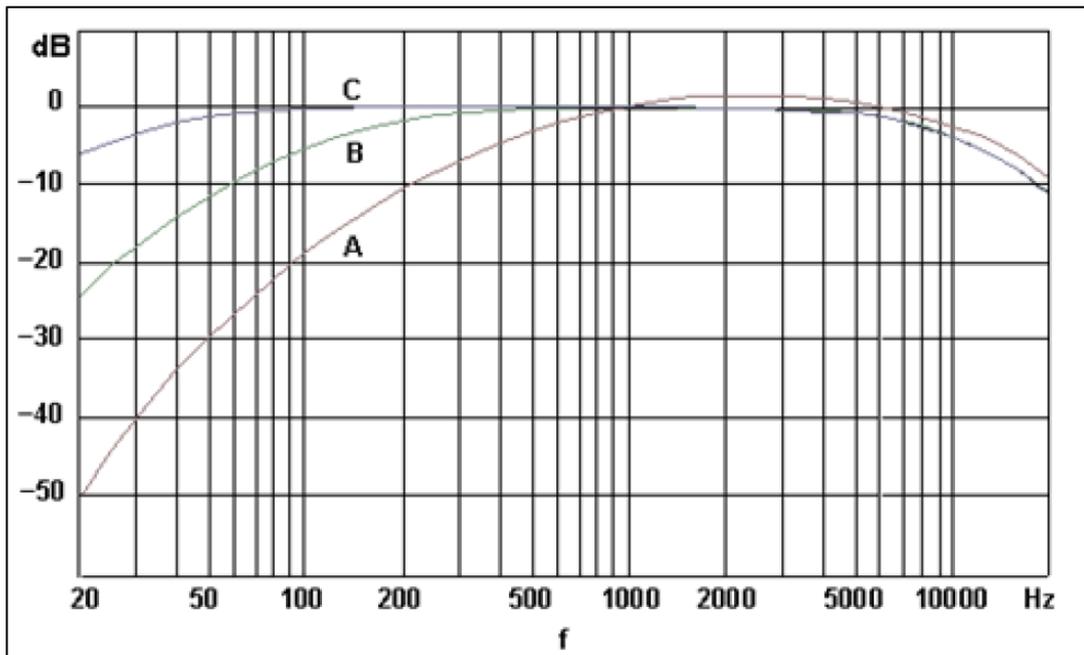
**Figura 3.** Tabla de nivel de sonido en puestos de trabajo y cotidianos. Adaptado de “OSHA Pocket Guide Worker Safety Series: Protecting Yourself from Noise in Construction”, 2011, Occupational Safety and Health Standards (OSHA). Copyright 2011 por Occupational Safety and Health Standards.

### 2.7. Ponderación A

La ponderación A es un filtro de ponderación de frecuencia aplicado a las mediciones de sonido, diseñado para aproximar la respuesta del oído humano a diferentes frecuencias y brindar una representación más precisa del volumen percibido (International Electrotechnical Commission, 2013). En la **Figura 4** se puede observar el comportamiento de la curva de ponderación A en diferentes frecuencias.

## 2.8. Ponderación C

La ponderación C es una medida utilizada en la clasificación del ruido para tener en cuenta cómo el oído humano percibe los sonidos de baja frecuencia. La curva de ponderación C se usa para ajustar las mediciones de ruido para dar más peso a las frecuencias bajas (ver **Figura 4**), ya que se considera que estas frecuencias tienen el mayor potencial de molestia o efectos adversos en la audición (International Electrotechnical Commission, 2013).



**Figura 4.** Curvas de ponderación A, B y C. Adaptado de “Informe Final Protocolo Nacional de Monitoreo Ambiental” por AMC N° 031-2011-MINAM/OGA. Copyright 2011 por MINAM.

## 2.9. Nivel de presión sonora continua equivalente

De acuerdo con el principio de energía igual, el efecto de una combinación de eventos de ruido está relacionado con la energía sonora combinada de esos eventos. Por lo tanto, medidas como el nivel de presión sonora continuo equivalente ( $L_{Aeq,T}$ ) suman la energía total durante un período de tiempo (T) y dan un nivel equivalente a la energía sonora promedio durante ese período. Dichos niveles promedio generalmente se basan en la integración de niveles ponderados A. Por lo tanto,  $L_{Aeq,T}$  es el nivel equivalente de energía promedio del sonido ponderado A durante un período T. (Berglund et al., 1999).

$$L_{eq} = 10 \text{ Log} \left[ \frac{1}{t} \int_0^t \frac{P^2(t)}{P_0^2} dt \right]$$

Donde:

P(t): Presión sonora en función al tiempo

t: Periodo de medición (segundos, minutos, horas, etc)

Esta ecuación es utilizada por los sonómetros para estimar el nivel de ruido equivalente, en base a todos sus registros de ruido obtenidos durante su tiempo de medición.

## **2.10. Ruido ocupacional**

El ruido ocupacional es definido como cualquier sonido no deseado, siendo este producido en ambientes laborales (World Health Organization, 2018). También se refiere a los niveles de sonido y los riesgos potenciales asociados con la exposición al ruido en el lugar de trabajo. Es una forma de peligro en el lugar de trabajo que puede tener efectos adversos en la salud y el bienestar de los trabajadores (National Institute for Occupational Safety and Health, 1998).

### **2.10.1. Límite de exposición**

Se refiere al nivel máximo permitido de exposición al ruido ocupacional al que pueden estar expuestos los trabajadores sin experimentar efectos adversos para la salud. Su objetivo es prevenir la pérdida de audición inducida por el ruido y los efectos relacionados con la salud (Kardous, Themann, Morata & Lotz, 2016).

### **2.10.2. Confort acústico**

El confort acústico se refiere a la sensación de bienestar y comodidad que experimenta una persona en relación con el ambiente sonoro que la rodea. Implica que los sonidos presentes en un espacio ya sean naturales o generados por actividades humanas, sean

percibidos de una manera que no cause molestias ni perturbaciones significativas. El confort acústico puede ser evaluado a través de medidas físicas y percepciones psicoacústicas, además de encuestas destinadas a evaluar la satisfacción y la percepción de las personas en relación con el sonido en su entorno (Hernández, 1998).

Un ambiente acústico confortable es aquel en el que la calidad y el nivel de todos los sonidos son concordantes para el uso adecuados del espacio, y esta percepción compartida por quienes lo utilizan (Rodríguez & Baldeón, 2018)

### 2.10.3. Tiempo ponderado promedio

También denominado nivel sonoro medio con ponderación temporal para 8 horas o también TWA (por sus siglas en inglés), es un nivel de sonido que usa ponderación A y ponderación temporal exponencial lenta, que representa como si fuera constante durante un período de exposición de 8 horas (Harris, 1995).

Entonces podemos mencionar que el TWA es igual al  $L_{Aeq,T}$ , cuando este último es producto de una medición de 8 horas y se puede calcular de 2 formas.

$$TWA = LA_{eq.T} + 10 \text{ Log} \left( \frac{T}{8} \right)$$

Donde:

T: Tiempo de exposición (en horas)

Es decir, si tenemos un  $LA_{eq.T}$  de 90 dB(A) y un tiempo de exposición de 5 horas, el TWA sería igual a 87.96 dB(A).

$$TWA = LMP + 10 \text{ Log} \left( \frac{D}{100} \right)^{TI/[10 \text{ Log}(2)]}$$

Donde:

LMP: Límite Máximo Permissible (NIOSH = 85 dB, OSHA = 90 dB)

D: Dosis en porcentaje

TI: Tasa de intercambio (NIOSH = 3 dB, OSHA = 5 dB)

#### **2.10.4. Tasa de intercambio**

Representa la relación entre la duración de la exposición a un nivel de ruido específico y el tiempo de exposición permisible a niveles de ruido más altos. La tasa de intercambio determina cuánto debe disminuir el tiempo de exposición permisible a medida que aumenta el nivel de ruido (Franks et al., 1996)

La tasa de intercambio más utilizado en las normas sobre ruido laboral es del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (por sus siglas en inglés NIOSH) es de 3 dB, sin embargo, para la OSHA utiliza una tasa de intercambio de 5 dB. Esto significa que para NIOSH, por cada aumento de 3 dB en el nivel de ruido, el tiempo de exposición permisible se reduce a la mitad. Por ejemplo, si el tiempo de exposición permisible a 85 dB(A) es de 8 horas, se reduciría a 4 horas a 88 dB(A) y se reduciría aún más a 2 horas a 91 dB(A).

#### **2.10.5. Dosis de ruido**

Representa la exposición acumulada al ruido ocupacional durante un período específico. Tiene en cuenta tanto el nivel de sonido como la duración de la exposición y, a menudo, se expresa como un porcentaje de la dosis máxima permitida (Harris, 1995).

#### **2.10.6. Equipo de protección personal**

El equipo de protección personal (EPP) es un equipo que se usa para reducir el riesgo de estar expuesto a diversos peligros en el lugar de trabajo que pueden provocar lesiones y enfermedades graves. Estos peligros pueden incluir peligros químicos, radiológicos, físicos, eléctricos, mecánicos u otros tipos de peligros en el lugar de trabajo. Los EPP abarcan una variedad de artículos, como guantes, anteojos de seguridad, calzado protector, tapones para los oídos u orejeras, cascos, respiradores, así como ropa protectora como overoles, chalecos y trajes de cuerpo completo (Occupational Safety and Health Standards, 2006). En el contexto del ruido ocupacional, el EPP puede incluir tapones para los oídos, orejeras o auriculares con cancelación de ruido (Copelli, F., Behar, A., Le, T., & Russo, F, 2021).

### **2.10.7. Controles administrativos**

Implican la implementación de prácticas o políticas de trabajo para gestionar y mitigar la exposición al ruido ocupacional. Esto puede incluir la rotación de trabajos, la programación de descansos en entornos ruidosos o la implementación de programas de capacitación y monitoreo del ruido (National Institute for Occupational Safety and Health, 1998).

### **2.10.8. Controles de ingeniería**

Son medidas tomadas para reducir o eliminar el ruido ocupacional en la fuente o a lo largo de su ruta de transmisión. Los ejemplos de controles de ingeniería incluyen aislamiento acústico, rediseño de maquinaria o el uso de barreras reductoras de ruido (Concha-Barrientos, Campbell-Lendrum, & Steenland, 2002).

### **2.10.9. Nivel de reducción de ruido**

El nivel de reducción de ruido (NRR) es una medida utilizada para cuantificar la eficacia de los dispositivos de protección auditiva, como tapones para los oídos u orejeras, para reducir la exposición al ruido del usuario (Copelli et al., 2021).

### **2.10.10. Nivel efectivo de protección**

Se expresa en decibelios (dB) y muestra cuánto se reduce el nivel de ruido percibido por el usuario cuando se utiliza correctamente el dispositivo de protección auditiva. Es un parámetro importante para evaluar la efectividad de los protectores auditivos y garantizar que se proporciona una adecuada protección contra el ruido en entornos laborales ruidosos (Occupational Safety and Health Standards, 2022)

### 2.10.11. Normativa nacional

#### R.M N° 375-2008-TR

La normativa peruana es mencionada en el Anexo 1 de la Resolución Ministerial N° 375-2008-TR “Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico”, en el Título VII donde se presentan las condiciones ambientales de trabajo, en el cual, en el punto 23 se menciona que debe tomarse en cuenta que el tiempo de exposición al ruido industrial observará de forma obligatoria el criterio presentado en la **Tabla 1**.

**Tabla 1: Nivel de ruido de acuerdo al nivel de exposición en horas**

Duración (horas)	Nivel de ruido (dB)
24	80
16	82
12	83
8	85
4	88
2	91
1	94

Nota: dB = Decibelios. Adaptado de “Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico”, 2008, Anexo 1 de la Resolución Ministerial N° 375-2008-TR. Copyright por la Resolución Ministerial N° 375-2008-TR.

## **NTP ISO 9612:2010**

Esta Norma Técnica Peruana describe un procedimiento de ingeniería que permite evaluar la exposición al ruido de los trabajadores en un ambiente de trabajo y calcular el nivel de exposición. Este estándar se enfoca en los niveles ponderados A, pero también se puede aplicar a los niveles ponderados C. Se detallan tres estrategias diferentes para llevar a cabo la medición. Este método es útil cuando es necesario determinar la exposición al ruido con fines de ingeniería, como en estudios completos de exposición al ruido o investigaciones epidemiológicas de daños auditivos u otros efectos adversos.

### **2.10.12. Normativa internacional**

Existen múltiples normativas respecto al ruido ocupacional en distintos países, sin embargo, nos basaremos en aquellas dos (02) que son las más citadas y comparadas a nivel bibliográfico.

#### **Occupational Safety and Health Administration (OSHA)**

De acuerdo al Departamento de Trabajo de Estados Unidos, la Agencia de Salud y Seguridad Laboral (por sus siglas en inglés OSHA), de acuerdo a los Estándares de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, 1981), en la parte número 1910, en el subtítulo Salud ocupacional y control ambiental, con el subnúmero 1910.95 se menciona si las variaciones en el nivel de ruido involucran intervalos cuyas máximas sean de por lo menos 1 segundo, se debe considerar como un ruido continuo, además presenta en la **Tabla 2**, los criterios especificados.

**Tabla 2: Exposiciones de ruido permitidas**

<b>Duración (horas)</b>	<b>Nivel de ruido (dB)</b>
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1,5	102
1	105
0,5	110
0,25 o menos	115

Nota: dB = Decibelios. Adaptado de “1910: Occupational Health and Environment Control”, 1981, Occupational Safety and Health Standards, 1910.95 (b)(2). Copyright 1981 por la Occupational Safety and Health Standards.

### **National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)**

De acuerdo al Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (por sus siglas en inglés NIOSH), de Estados Unidos, dentro de su guía “Criterios para un Estándar Recomendado” (National Institute for Occupational Safety and Health, 1998), se presenta en la **Tabla 3** los criterios que deben de cumplirse de manera recomendada, este se basa en el tiempo ponderado promedio (TWA) de 85 dB(A) para una exposición de 8 horas.

**Tabla 3: Combinaciones de niveles de exposición al ruido y duraciones que la exposición de ningún trabajador debe igualar o exceder**

Nivel de exposición, L (dB(A))	Duración (t)			Nivel de exposición, L (dB(A))	Duración (t)		
	Horas	Minutos	Segundos		Horas	Minutos	Segundos
80	25	24	-	106	-	3	45
81	20	10	-	107	-	2	59
82	16	-	-	108	-	2	22
83	12	42	-	109	-	1	53
84	10	5	-	110	-	1	29
85	8	-	-	111	-	1	11
86	6	21	-	112	-	-	56
87	5	2	-	113	-	-	45
88	4	-	-	114	-	-	35
89	3	10	-	115	-	-	28
90	2	31	-	116	-	-	22
91	2	-	-	117	-	-	18
92	1	35	-	118	-	-	14
93	1	16	-	119	-	-	11
94	1	-	-	120	-	-	9
95	-	47	37	121	-	-	7
96	-	37	48	122	-	-	6
97	-	30	-	123	-	-	4
98	-	23	49	124	-	-	3
99	-	18	59	125	-	-	3
100	-	15	-	126	-	-	2
101	-	11	54	127	-	-	1
102	-	9	27	128	-	-	1
103	-	7	30	129	-	-	1
104	-	5	57	130-140	-	-	<1
105	-	4	43	-	-	-	-

Nota: dB(A) = Decibelios en ponderación A. Adaptado de “Criteria for a Recommended Standard, Occupational Noise Exposure”, 1998. Copyright 1998 por la National Institute for Occupational Safety and Health.

### **2.10.13. Efectos a la salud**

#### **Pérdida Auditiva**

La exposición a largo plazo de altos niveles de ruido se asocia con la pérdida auditiva, afectando las estructuras periféricas y centrales, es decir hipoacusia. Asimismo, la pérdida de células ciliadas internas y desmielinización del sistema auditivo central, pero no sinoptopatía coclear (Skoe & Tufts, 2018).

La exposición al ruido puede resultar en un patrón asimétrico de pérdida auditiva debido a diferencias únicas en la susceptibilidad al daño por ruido dentro de los individuos, aumento de la frecuencia del tinnitus (zumbidos en el oído) y disfunción vestibular. El oído izquierdo se ve afectado negativamente por el ruido, incluso en presencia de una exposición simétrica al ruido, lo que conlleva a pérdida de audición y equilibrio (Le et al., 2017).

#### **Perturbación del Sueño**

Las exposiciones al ruido ocupacional en altos niveles se encuentran con frecuencia en las ciudades modernas, donde se afecta la calidad del sueño, probablemente a través de mecanismos autonómicos. Los riesgos de una peor calidad del sueño y los trastornos metabólicos asociados inducidos por la exposición al ruido ocupacional justifican una mayor investigación (Lin et al., 2018).

#### **Enfermedades Cardiovasculares**

Las personas que presentan un grado de exposición alto al ruido, como por ejemplo aquellas que se encuentran constantemente expuestas al ruido generado por los diversos medios de transporte, presentan un alto índice de infarto de miocardio (MI por sus siglas en inglés), por estar expuestos a altos niveles de ruido como de transporte público o aéreo. Los factores de riesgo biológicos son inflamación, estrés oxidativo y disfunción endotelica, lo que conlleva a tres (03) posibles enfermedades como enfermedad de la arteria coronaria, hipertensión o insuficiencia cardíaca (Sorensen & Pershagen, 2019).

El ruido se asocia con la disfunción autonómica cardíaca, lo que puede aumentar el riesgo de eventos cardiovasculares, los trabajadores con enfermedades cardiovasculares o metabolismo anormal preexistente no son aptos para trabajar en lugares ruidosos. Las empresas deben monitorear continuamente el ruido del ambiente de trabajo y las condiciones de salud de los empleados, especialmente para aquellos que trabajan en un ambiente ruidoso (Lai & Huang, 2019).

La exposición al ruido ocupacional puede ser un factor de riesgo potencial para la enfermedad cardiovascular aterosclerótica. Específicamente si se tiene una exposición de 10 años de ruido ocupacional, especialmente los varones y gente mayor son las más susceptibles a padecer esta enfermedad mencionada previamente (Wang et al., 2021).

### **Alteración genética del ADN**

La exposición prolongada al ruido aumenta la presión sanguínea y puede causar daño al ADN, afectando tres (03) regiones críticas del cerebro, el estriado, hipocampo y cerebelo. En ratas expuestas al ruido de 100 dB durante 12 horas, se observó un incremento significativo en el ADN de la cola, además que el daño al ADN persistió durante 24 horas después de haber cesado el ruido, asimismo, se correlacionó significativamente los niveles de 8-Oxo-2'-desoxiguanosina (8-oxodG), como indicador del daño oxidativo del ADN, es decir, este compuesto es uno de los primeros y principales en generarse cuando el ADN sufre cambios en su estructura que podrían derivar en mutación, y los niveles de cortisol. Justamente sustancias que se producen cuando los niveles de estrés se elevan en el cuerpo generando un aumento de la presión sanguínea y por lo tanto una posible alteración en el ADN, principalmente a la exposición prolongada de ruido como en entornos laborales (Hosseinabadi et al., 2019).

## **Crecimiento fetal reducido**

Se analizaron a más de 850 mil mujeres desde la semana 10 de embarazo, donde se dividieron en 3 grupos de ruido <75 db(A), 75-85 db(A) y >85 db(A); también se consideró que algunas mujeres contaban con trabajo parcial y tiempo completo. La exposición de tiempo completo a altos niveles de ruido durante el embarazo se asoció con un crecimiento intrauterino, lo que conlleva a un crecimiento fetal ligeramente reducido. La exposición a niveles altos (>85 db(A)) de ruido ocupacional durante el embarazo (trabajadoras a tiempo completo) se asoció con un mayor riesgo de que el bebé naciera pequeño para la edad gestacional, en comparación con la exposición al ruido <75 db(A). No se observó una asociación clara para el parto prematuro. No se observaron efectos consistentes en el resultado del parto en mujeres que habían trabajado a tiempo parcial o estaban de permiso más de 21 días (mediana). El efecto de la exposición intermedia al ruido ocupacional (75–85 db(A)) mostró un riesgo pequeño, pero estadísticamente mayor, para todos los resultados de nacimiento estudiados. El estudio fortalece la evidencia de que las mujeres embarazadas no deben estar expuestas a largo plazo a niveles altos de >85 db(A) de ruido ocupacional durante el embarazo (Selander et al., 2019).

### **2.11. Planta de reciclaje**

Una instalación de reciclaje es un lugar donde varios tipos de materiales se procesan para su reutilización. Dependiendo de la capacidad y demanda de la planta, se manejan materiales específicos. Las plantas de reciclaje están diseñadas para asegurar una separación rápida y eficiente de los residuos entrantes. El funcionamiento de una instalación de reciclaje comienza cuando los ciudadanos desechan los residuos en contenedores designados. Finalmente, los residuos se recogen y son transportados a las plantas de reciclaje, donde se clasifican mediante una faja transportadora. Tras la clasificación y limpieza, se inicia el proceso de reciclaje, transformando los residuos en materias primas que se utilizan para la fabricación de nuevos productos (GRV Ambient, 2007).

El ruido se produce en una planta de reciclaje por diferentes motivos, dependiendo del tipo de materiales que se procesan y de las máquinas que se utilizan (Parris & McCauley, 2016). Las fuentes más comunes de ruido en la planta de reciclaje son la

recogida y el transporte de los residuos sólidos, el ruido generado por el impacto de los contenedores, además la clasificación y tratamiento de los residuos, que implica el uso de fajas transportadoras, trituradoras, compactadoras, ventiladores, etc. (Health and Safety Executive, 2012). Finalmente, el ruido generado por residuos de vidrio generado por el impacto entre sí. Es importante recalcar que desde el 2005 para Reino Unido este tipo de ruido generado por el vidrio es considerado como un ruido peligroso debido a que es considerado prácticamente un ruido constante y fuerte. (Health and Safety Executive, 2021).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Área de estudio**

##### **3.1.1. Antecedentes**

La planta reciclaje de la municipalidad de La Molina es parte del programa ECORECICLA, el cual es un servicio gratuito que proporciona la municipalidad, donde se colectan los residuos sólidos inorgánicos, con la finalidad de reducir la cantidad de residuos sólidos segregados de manera errónea. Además, se impulsa una forma de reciclaje que genera un incremento en la conciencia ambiental dentro de los vecinos del distrito, y que es un ejemplo para el resto de los distritos.

El año 2021 se cumplió y sobrepasó las metas del Ministerio del Ambiente (MINAM) y el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), de tal manera que se lograron reciclar más de 700 toneladas ese mismo año, solo con la participación del 25% de vecinos del distrito.

El programa ECORECICLA cuenta con un total de 43 personas para las labores operativas, que incluye el recojo de los residuos en los 5 sectores del distrito, la segregación de los residuos, la supervisión y control general.

Para el año 2022 en la planta se generaban de manera mensual aproximadamente 70 toneladas de residuos inorgánicos, durante los meses de agosto y diciembre de dicho año, se hizo una remodelación a la planta de reciclaje para poder lograr un mayor abastecimiento para el 2023 de acuerdo con el objetivo planteado por el MINAM y MEF de reciclar 100 toneladas mensuales, asimismo con un porcentaje de participación vecinal mayor.

### 3.1.2. Ubicación

La planta de reciclaje se ubica en la Calle 141 Santa María Eufrasia en el distrito de La Molina en el departamento de Lima, de manera referencial se ubica entre la Av. Evitamiento cruce con la Calle Santa María Eufrasia, a una cuadra del puente Los Quechuas. En la **Figura 5** se puede observar bordeado de color amarillo el área de la planta de reciclaje.



**Figura 5.** Ubicación de la planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina. Adaptado de Google Earth, 2023. Copyright 2023 por Google Earth.

### 3.1.3. Permiso y acceso

Para poder ingresar a la planta de reciclaje se conversó de manera preliminar con la subgerenta de sostenibilidad de la municipalidad de La Molina. Posteriormente se generó un oficio, el cual se encuentra en el **Anexo 1**, para obtener un permiso formal y finalmente, con una confirmación mediante correo electrónico. Cabe resaltar que, el ingreso a planta es restringido para aquellos que no sean trabajadores de la municipalidad.

### **3.1.4. Materiales**

Los materiales empleados para el presente trabajo de investigación fueron los siguientes:

- 01 Libreta de campo
- 04 Fichas de registro de datos de ruido
- 12 Hojas de cuestionario sobre confort acústico
- 01 Sonómetro integrador clase 2, RION NL-42A
- 01 GPS (WGS-84 18S)
- 01 Trípode
- 12 Pilas AA
- 01 Celular con cámara fotográfica
- 01 Laptop
- Software: Microsoft Word
- Software: Microsoft Excel
- Software: Minitab 18

### **3.2. Niveles de ruido según la R.M N° 375-2008-TR**

La planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina cuenta con diez (10) trabajadores por día. Se utiliza principalmente una faja transportadora, donde se dispone y segrega los residuos sólidos inorgánicos, dependiendo de la composición del material a reciclar. El volumen, la forma y el tamaño del espacio son de vital importancia en las características acústicas; los grandes volúmenes de espacio aumentan el tiempo de reverberación y el ruido ambiental, al tiempo que disminuyen la inteligibilidad del habla. Para evaluar los niveles de exposición al ruido en la planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina, se tomaron medidas en seis (6) estaciones denominadas Puntos de Ruido (PR) cuyas coordenadas se pueden observar en la **Tabla 4**, donde 5 de estos puntos fueron distribuidos espacialmente de manera

linear con una separación mínima de 7 metros y el último punto frente a una compresora como se observa en la **Figura 6**. Estos puntos fueron medidos en diferentes momentos del día, y se registró la información en una ficha; los 5 primeros puntos fueron medidos mientras opera la faja transportadora, lo cual involucra disponer los residuos en la base de la faja y funcionamiento de un equipo de sonido y el punto 6 fue medido mientras la compresora se enciende, lo cual involucra disminuir el tamaño de los residuos de Tetrapak en cubos más reducidos para su posterior transporte y reciclaje. Este procedimiento ayudó a determinar la extensión del tiempo de exposición para saber si se encuentra por encima de los niveles recomendados establecidos por NIOSH, ya que son los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS).



**Figura 6.** Ubicación espacial de las estaciones de ruido en la Planta de reciclaje de la Municipalidad de La Molina. Adaptado de Google Earth, 2023. Copyright 2023 por Google Earth.

**Tabla 4: Coordenadas y descripción de las estaciones de ruido**

Estaciones	Coordenadas		Descripción
	Este (m)	Norte (m)	
PR-1	285082	8664322	Ubicado a 0,5 m de la segregación de vidrio.
PR-2	285087	8664321	Ubicado a 1 m de la segregación de plástico (tipo 1 y 5) y latas.
PR-3	285085	8664338	Ubicado a 1 m de la segregación de plástico (tipo 2) y Tetrapak.
PR-4	285083	8664330	Ubicado a 1,5 m de la segregación de cartón.
PR-5	285098	8664329	Ubicado a 1,5 m de la segregación de papel y papel periódico.
PR-6	285086	8664326	Ubicado a 0,5 m de la compresora de Tetrapak.

Nota: PR = Punto de Ruido. Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) en metros. Datum geográfico: WGS-84 Zona 18S.

### 3.2.1. Ruido ocupacional

El monitoreo de ruido ocupacional fue realizado el 25, 26, 27, 30 y 31 de enero del 2023. El registro de los niveles de presión sonora generado en la planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina se expresó por el peso A (dB(A)), que se define en base a la NTP ISO 9612:2010 y la normativa recomendada por NIOSH.

Se realizaron un total de 210 mediciones en 6 puntos de muestreo o estaciones de ruido, es decir 35 por estación. Las mediciones de ruido a lo largo de los 5 días iniciaron a las 8:00 y culminaron a las 15:00. Para las emisiones de ruido, la medida del sonido es el nivel de presión sonora en el puesto del operador. Los 5 primeros puntos de muestreo se midieron de 8:00 a 13:00 y el último punto de 14:00 a 15:00, ya que, corresponde a la medición junto a la compresora y esta empezaba a funcionar desde las 14:00 hasta el final de la jornada laboral (17:00).

Se utilizó un sonómetro de la marca RION de modelo NL-42A cuyo número de serie es 00523023 que se puede observar en el **Anexo 2**, el cual se encontró debidamente calibrado y cuyo certificado de calibración se encuentra en el **Anexo 3**. El sonómetro fue calibrado antes y después de cada jornada de medición de acuerdo a las instrucciones del fabricante, en este caso diariamente, asimismo. Se registraron las coordenadas previa medición mediante un GPS marca Garmin modelo GPSMAP 64sx que se puede observar en el **Anexo 2**, cuyo datum geográfico será el WGS-84 en la zona 18S. Todas las medidas se tomaron en condiciones de trabajo normales y estables. Esto asegura la representación de la jornada laboral promedio en lo que respecta a las horas de trabajo y operativas, y el volumen de producción. Los trabajadores de la planta de reciclaje suelen estar a una distancia aproximada de 0,5 a 2 m de las principales fuentes de ruido, como la disposición de residuos inorgánicos en la base de la faja transportadora y fuerte comunicación entre los trabajadores. El sonómetro se colocó a una altura de 1,5 m del suelo con la ayuda de un trípode y los puntos de medición del área se colocaron a 0,5 – 1,5 metros de la fuente de sonido del ruido horizontalmente. Para garantizar la uniformidad de la recopilación de datos, la duración de cada medición fue de 3 minutos y se registraron niveles de presión sonora equivalentes ponderados ( $L_{A\text{ eq}180s}$ ). En todas las mediciones se registraron la hora y fecha, de igual manera un registro fotográfico para todas las estaciones que se encuentran en el **Anexo 3**.

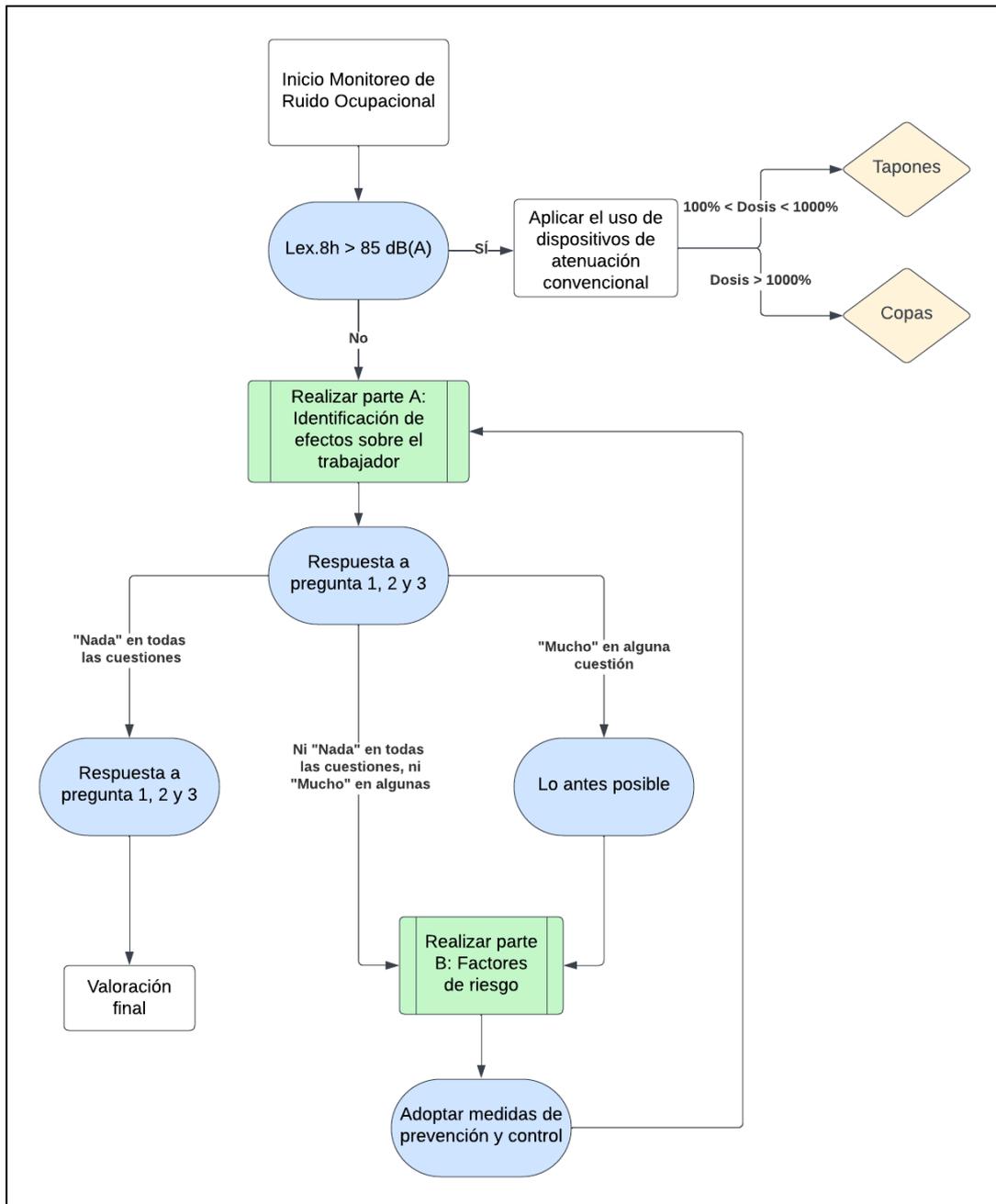
### **3.2.2. Ruido ambiental**

También se hicieron mediciones de ruido ambiental, de acuerdo al Protocolo nacional de monitoreo de ruido ambiental AMC N° 031-2011 MINAM y la NTP ISO1996-2:2008, el tiempo de medición en cada periodo de monitoreo fue de 15 minutos. Se realizaron 15 mediciones, en el horario diurno (7:01-22:00) los días 25, 26, 27, 30 y 31 de enero, previo al inicio del horario laboral (horario diurno), es decir de 7:01 a 8:00 ya que, el principal motivo de las mediciones de ruido ambiental fue para determinar la presión sonora equivalente exterior proveniente de la Av. Evitamiento por ser el ruido exterior más prominente. Es importante recalcar que, previa a la medición se calibró el sonómetro y se configuró con la ponderación A (dB(A)), además, el sonómetro fue colocado a una altura de 1,5 metros del suelo y paralelo a

este, finalmente se colocó el sonómetro a unos 3,5 metros o más de alguna estructura (pared, tachos, etc) para evitar algún tipo de reverberación.

### **3.3. Cuestionario sobre el confort acústico**

Este documento fue elaborado en base al desarrollado por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo de España, y se encuentra completo en el **Anexo 4**. Se preparó sobre la base de los conocimientos actuales y de las correspondientes normativas técnicas, con el objetivo de facilitar la identificación y prevención de perturbaciones e interferencias provocadas por el ruido en el entorno laboral. El cuestionario permite evaluar el impacto de la exposición al ruido en las dificultades de comunicación, molestia, reducción de la productividad, ira, impaciencia, sensación de fatiga, falta de motivación y concentración, y finalmente, quejas de pérdida de audición causada por la exposición al ruido en el lugar de trabajo. Para conseguir una buena gestión del ruido ocupacional es fundamental contar con la colaboración de los distintos miembros de la empresa, en este caso todos los trabajadores de la planta de reciclaje. La eficacia del control del ruido depende del grado de compromiso y participación activa de cada uno de ellos. Se solicitó a 11 trabajadores en total, 4 de ellos el 25 de enero, 4 el 26 de enero y finalmente 3 el 27 de enero, que completen el cuestionario para documentar de manera complementaria el impacto del ruido en su salud, de tal manera que, se obtuvieron datos cualitativos en base a la percepción de la exposición al ruido y estos comparados en base a la información de ruido obtenida de manera cuantitativa. En la **Figura 7**, se puede ver esquemáticamente una adaptación al procedimiento realizado.



**Figura 7.** Esquema de actuación. Adaptado de “Ruido: Evaluación y Acondicionamiento Ergonómico – Cuestionario” por Gómez-Cano, M., 2021, Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Copyright 2021 por Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. España.

### 3.4. Comparación de los niveles de ruido y puntos de muestreo

Las hipótesis en la presente tesis son las siguientes:

- Los niveles de ruido exceden los valores respecto a la R.M. N° 375-2008-TR “Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico” de 85 dB para la planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina.
- El mayor nivel de ruido se presenta en la base de la faja transportadora, provocado por el choque de los residuos sólidos, por lo que se tendrá que utilizar tapones auditivos.

El desarrollo de las pruebas de hipótesis se realizó en el software Minitab y Excel.

Antes de llevar a cabo la prueba de hipótesis, fue esencial determinar si los datos seguían una distribución normal y cumplían la homogeneidad de varianzas a un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0,05$ ), ya que estos supuestos son cruciales para elegir entre una prueba estadística paramétrica o no paramétrica.

Para verificar la normalidad de los datos, se aplicó una prueba de hipótesis para evaluar si provenían de una distribución normal, mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov. Al desarrollar esta prueba, se concluyó que los 210 datos de las estaciones de ruido (PR) no tenían una distribución normal.

Para verificar la homogeneidad de varianzas, se aplicó una prueba de hipótesis para evaluar si cumplían este supuesto, mediante la prueba de Bartlett. Al desarrollar esta prueba, se concluyó que la variabilidad de los niveles de ruido no es la misma en las 6 estaciones.

Por lo tanto, se justificaba la elección de una prueba no paramétrica. Las pruebas no paramétricas escogidas para el desarrollo de las hipótesis fueron la prueba de Wilcoxon, la prueba de Kruskal-Wallis y la prueba de comparación múltiple (Conover-Iman). Asimismo, el desarrollo completo de todas las pruebas se presenta en el **Anexo 5**.

Finalmente, se determinaron los valores estadísticos de las 2 primeras pruebas en el software Minitab y la última prueba en el software Excel, a un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0,05$ ), posteriormente comparado el valor calculado con el valor

tabular para poder así tomar una decisión respecto a la hipótesis planteada en cada prueba.

Donde las hipótesis nulas y alternas de acuerdo a la prueba estadística realizada son las siguientes:

#### **3.4.1. Prueba de Wilcoxon**

Ho: La mediana de los 210 datos de niveles de presión sonora equivalente es menor o igual a 85 dB.

H1: La mediana de los 210 datos de niveles de presión sonora equivalente es mayor a 85 dB.

#### **3.4.2. Prueba de Kruskal-Wallis**

Ho: Los niveles de presión sonora equivalente en las 6 estaciones (PR) es el mismo.

H1: Los niveles de presión sonora equivalente en las 6 estaciones (PR) no es el mismo.

#### **3.4.3. Prueba de comparación múltiple**

Ho: Las medianas de los niveles de presión sonora equivalente de la estación PR-i y PR-j son las mismas.

H1: Las medianas de los niveles de presión sonora equivalente de la estación PR-i y PR-j no son las mismas.

### **3.5. Relación de ruido ocupacional y dosimetría**

En Perú, el nivel de ruido del límite máximo permisible (LMP) es de 85 dB(A) para un promedio ponderado de tiempo de 8 horas (según lo establecido la R.M. N° 375-2008-TR). Este nivel es igual al Límite de Exposición Recomendado de ruido del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) de Estados Unidos. Se utilizó un nivel de ruido máximo de 135 dB(C) como el valor de acción inferior que también utilizan la Unión Europea (UE) y el Reino Unido para la presión

sonora máxima europea. Los límites de exposición permisibles (PEL) son introducidos por la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA). El PEL de un peligro en particular constituye el nivel aceptable al que un empleado puede estar expuesto durante una jornada laboral determinada. Para determinar si un empleado ha estado expuesto por encima del PEL, OSHA se analizaron los datos aplicando un cálculo de tiempo ponderado promedio (TWA, por sus siglas en inglés para Time Weighted Average) de ocho horas a los datos recopilados.

La ecuación (1) se puede utilizar para determinar el porcentaje de dosis para un día con diferentes niveles de sonido.

$$D = 100 \sum \frac{Cn}{Tn} \quad (1)$$

Donde:

D: Porcentaje de dosis

Cn: Horas a cierto nivel de ruido

Tn: Tiempo de exposición para cierto nivel de ruido

El tiempo de exposición para cierto nivel de ruido Tn en horas es calculado utilizando la ecuación (2).

$$Tn = \frac{8}{2^{\left(\frac{LAeq.T-LMP}{TI}\right)}} \quad (2)$$

Donde:

L<sub>Aeq.T</sub>: Nivel de presión sonora continuo equivalente en db(A)

LMP: Límite Máximo Permisible (85 dB(A))

TI: Taza de intercambio (3 dB(A))

En la evaluación de la exposición al ruido laboral se realizó mediante una cantidad denominada dosis personal diaria, L<sub>EP.d</sub>. Se utilizó una ponderación para la evaluación del ruido en el lugar de trabajo, L<sub>EP.d</sub> en la práctica siempre se midió

utilizando una ponderación A, y puede escribirse  $L_{AEP,d}$ . En la Directiva de Agentes Físicos (Ruido),  $L_{AEP,d}$  se conoce como  $L_{AEx,8h}$  (nivel de presión sonora equivalente en 8 horas). La ecuación (3) es para calcular  $L_{EP,d}$ , a partir de la información sobre los niveles de exposición al ruido durante los subperíodos:

$$L_{ep,d} = 10 \times \text{Log}\left(\frac{t_1 \times 10^{\frac{L_1}{10}} + t_2 \times 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots}{T}\right) \quad (3)$$

Donde:

$L_1$  y  $L_2$ : Niveles de presión sonora durante dos subperíodos

$t_1$  y  $t_2$ : Períodos de tiempo

T: Período de tiempo total

Es importante mencionar que T debe ser igual a la suma de  $t_1$  y  $t_2$ , donde el tiempo actual T ha sido sustituido por un día laboral estándar de 8 horas. Entonces, la suma de  $t_1$ ,  $t_2$  debe ser igual o equivalente a 8 horas de trabajo;  $t_1$ ,  $t_2$  y  $t_n$  y T deben medirse en las mismas unidades, ya sean horas, minutos o segundos, como se muestra en la ecuación (4).

$$L_{AEx,8h} = 10 \times \text{Log}\left(\frac{t_1 \times 10^{\frac{L_1}{10}} + t_2 \times 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + t_n \times 10^{\frac{L_n}{10}}}{T}\right) \quad (4)$$

### 3.6. Evaluación de zonas que requieren dispositivos de atenuación convencional

En caso se logre superar el nivel de presión sonora equivalente de 8 horas, por lo tanto, una dosis mayor al 100% para alguno de los puntos medidos, se hace crucial la aplicación de dispositivos de atenuación convencional como copas o tapones auditivos.

Las copas y tapones auditivos son herramientas eficaces para atenuar la exposición al ruido excesivo. Al aplicarlos correctamente, crean una barrera física que reduce la cantidad de ruido que ingresa al oído interno. Estos dispositivos están diseñados para proporcionar una atenuación adecuada en función de su nivel de reducción de ruido ( $N_{RR}$ ).

El uso de copas o tapones auditivos dependerá de la magnitud del ruido, los cuales se puede calcular su nivel de protección, por ende, atenuación de ruido como se muestran en las ecuaciones (5) y (6).

$$\text{Copas:} \quad NEF = LAeq - (NRR - 7) \times 0,75 \quad (5)$$

$$\text{Tapones:} \quad NEF = LAeq - (NRR - 7) \times 0,5 \quad (6)$$

Donde:

$N_{EF}$ : Nivel efectivo de protección

$N_{RR}$ : Nivel de reducción de ruido del protector

La fórmula se aplica para calcular la diferencia que existe entre el nivel de presión sonora continuo equivalente ( $L_{Aeq,T}$ ) antes de la aplicación del protector auditivo y el nivel efectivo de protección ( $N_{EF}$ ) posterior a aplicarlo. Como resultado se obtiene la reducción efectiva del ruido, obtenido mediante el uso del protector auditivo.

La resta de 7 dB(A) hacia el  $N_{RR}$  junto con el factor 0,75 y 0,5 son factores establecidos por NIOSH. Los 7 dB(A) representan un ajuste para considerar la

variabilidad en la atenuación real proporcionada por el protector auditivo a diferentes frecuencias. Los factores 0,75 y 0,5 representan un ajuste para la clasificación del nivel de reducción de ruido ( $N_{RR}$ ) y reflejar una estimación más exacta de la atenuación efectiva proporcionada por cada tipo de protector auditivo. Además, ya que dependemos del nivel de ruido que se encuentre en las mediciones, en caso la dosis sea sumamente elevada ( $dosis > 1000\%$ ) se podrán utilizar copas en lugar de tapones, puesto que, el  $N_{EF}$  de las copas es mayor al  $N_{EF}$  de los tapones; caso contrario ( $100\% < dosis < 1000\%$ ), el uso de tapones sería más conveniente.

Una vez calculado el  $N_{EF}$  para todas las mediciones, se hallará el nuevo nivel de presión sonora equivalente en 8 horas ( $L_{AEX.8h}$ ), luego el tiempo de exposición ( $T_n$ ) y finalmente se procederá a calcular la dosis, de tal manera que logre ser menor o igual al 100%.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Niveles de ruido según la R.M N° 375-2008-TR

#### 4.1.1. Ruido ocupacional

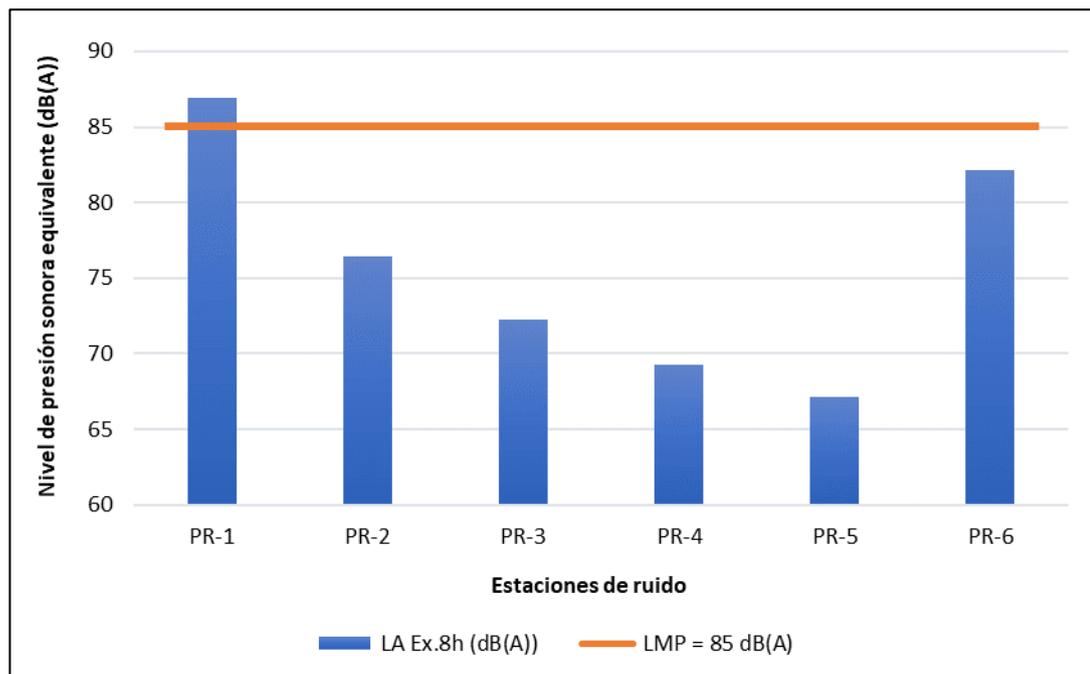
Se obtuvieron 210 datos de niveles de presión sonora continuo equivalente en periodos de 3 minutos, cuya desviación estándar varió entre +/-0,03 y +/-0,01. Estos resultados se encuentran en el **Anexo 6**. A partir de estos registros ( $L_{Aeq,T}$ ), se determinó el promedio logarítmico de los niveles de presión sonora continuo equivalente en un periodo de una jornada laboral, es decir 8 horas en casa estación de monitoreo ( $L_{AEx.8h}$ ), cuyos resultados se encuentran en **Tabla 5** y representando visualmente en la **Figura 8** con el límite máximo permisible de 85 dB(A) de acuerdo al anexo 2 de la R.M N° 375-2008-TR y el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) de Estados Unidos.

**Tabla 5: Nivel de presión sonora equivalente en 8 horas de acuerdo a la estación**

Estaciones	Coordenadas		LA Ex.8h (dB(A))
	Este (m)	Norte (m)	
PR-1	285082	8664322	86,9
PR-2	285087	8664321	76,4
PR-3	285085	8664338	72,2
PR-4	285083	8664330	69,3
PR-5	285098	8664329	67,1
PR-6	285086	8664326	82,2

Nota: PR = Punto de Ruido. Nivel de presión sonora equivalente en 8 hora ( $L_{AEx.8h}$ ) con ponderación A. Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) en metros. Datum geográfico: WGS-84 Zona 18S.

Se observa en la **Figura 8** que los niveles de presión sonora continuo equivalente en un periodo de 8 horas con ponderación A (LA Ex.8h) variaron desde 67,1 dB(A) en la estación PR-5 hasta 86,9 dB(A) en la estación PR-1. La estación PR-5 tuvo el nivel más bajo precisamente porque en este punto se segrega papel y papel periódico, lo que genera al momento de segregarlo prácticamente ningún sonido. La estación PR-1 tuvo el nivel más alto y sobrepasó la normativa de 85 dB(A), esto ocurrió debido a que en este punto se segrega vidrio, principalmente botellas de vidrio que al momento de disponerlas impactan entre sí generando un ruido pronunciado. Este ruido se mantuvo durante toda la jornada laboral y solo dependió de cuánta cantidad de vidrio se obtuvo producto de los residuos de algunas zonas del distrito. Es importante mencionar que la estación PR-6 contó con un nivel de presión sonora continuo equivalente en un periodo de 8 horas de 82,2 dB(A) que, si bien es inferior al límite máximo permisible, es un valor relativamente elevado. Las mediciones obtenidas en este punto de muestreo fueron prácticamente constantes, esto se debió a que la compresora generó una magnitud de ruido constante y solo dependió de la distancia en la que se hizo la medición, en este caso en un puesto de trabajo que solía variar entre 0,5 y 1 m de distancia.

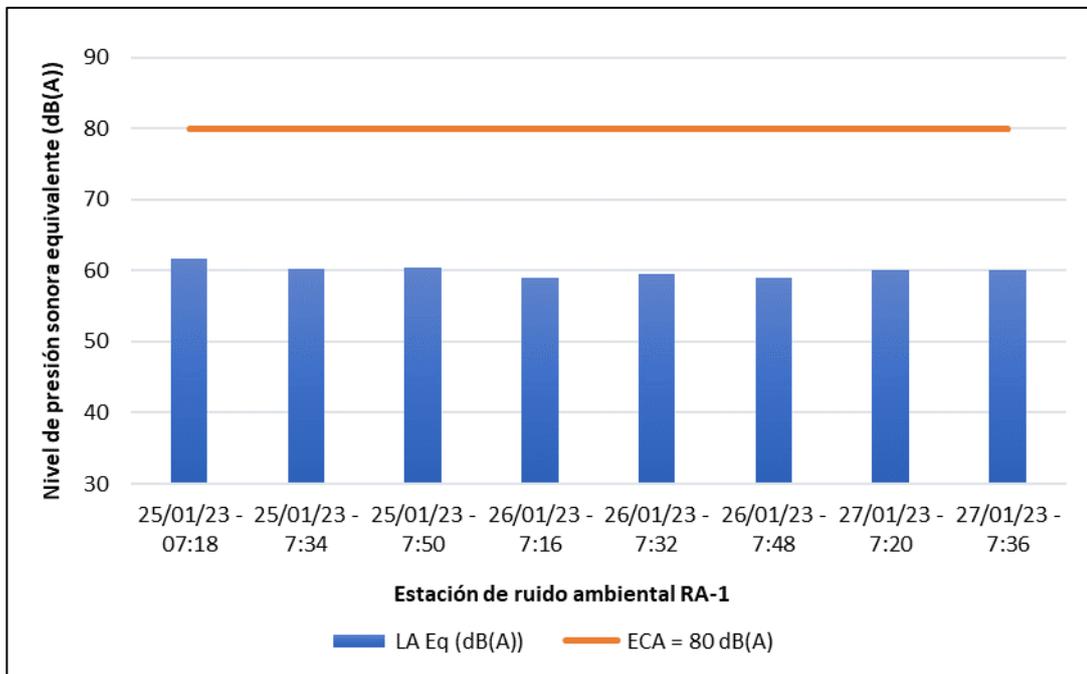


**Figura 8.** Niveles de presión sonora continuo equivalente en un periodo de 8 horas por estación. Elaboración propia.

#### 4.1.2. Ruido ambiental

Se obtuvieron 15 datos de niveles de presión sonora continuo equivalente en periodos de 15 minutos, cuya desviación estándar varió entre +/-0,02 y +/-0,01. Estos resultados se encuentran en el **Anexo 6**. Al encontrarnos en una zona industrial el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para horario diurno es de 80 dB(A).

Se observa en la **Figura 9** y **Figura 10** los niveles de presión sonora continuo equivalente con ponderación A ( $L_{A Eq}$ ) en la estación RA-1, en la fecha y hora que se obtuvo la medición y variaron desde 58,1 dB(A) hasta 61,7 dB(A). Para darnos una idea general la representación de 60 dB(A) de acuerdo con la **Figura 3** es equivalente a una conversación normal. Entonces nos encontramos con valores de ruido ambiental muy bajos, que causan ninguna molestia, fatiga, o estrés.



**Figura 9.** Niveles de presión sonora continuo equivalente en la estación RA-1. Elaboración propia.

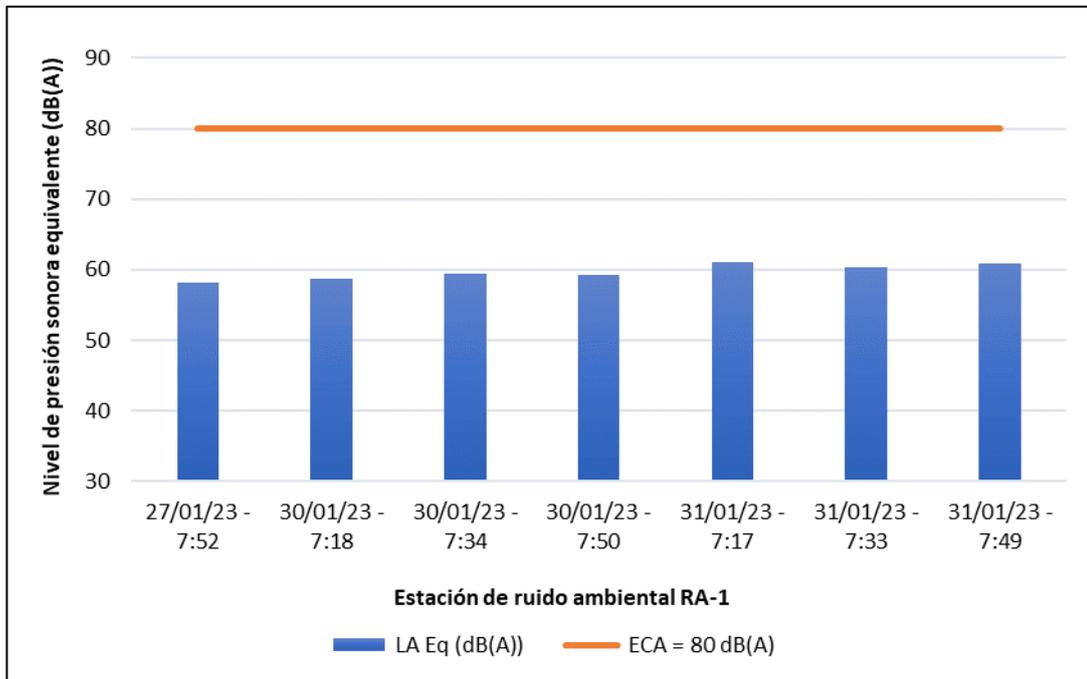


Figura 10. Niveles de presión sonora continuo equivalente en la estación RA-1. Elaboración propia.

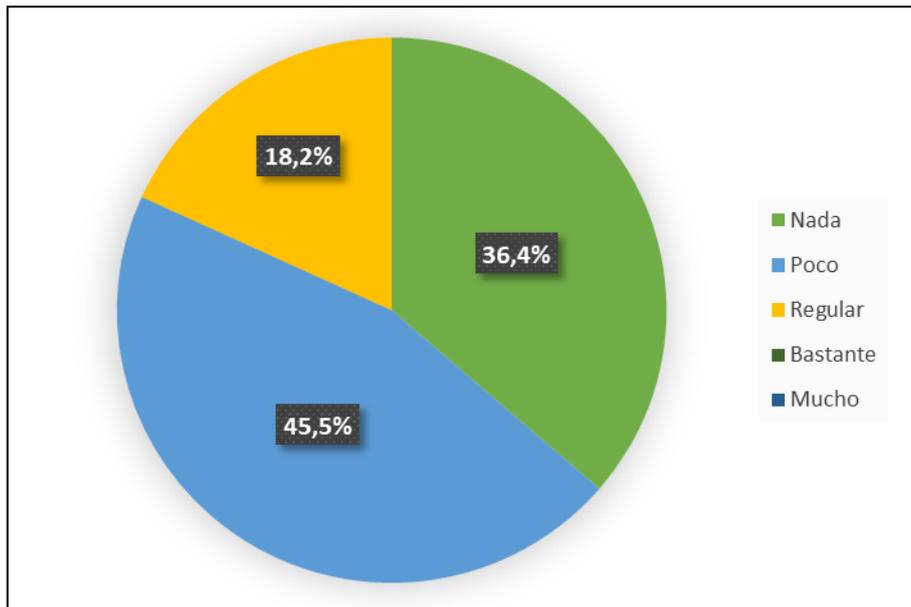
## 4.2. Análisis del cuestionario sobre confort acústico

### 4.2.1. A: Identificación de efectos sobre el trabajador

Debido a que 5 de 6 estaciones no sobrepasaron el nivel de presión sonora equivalente de 8 horas ( $L_{AEx.8h}$ ) a 85 dB(A), de acuerdo con el esquema presentado anteriormente en la **Figura 7**, se procedió con la parte A del cuestionario de confort acústico.

#### Molestias

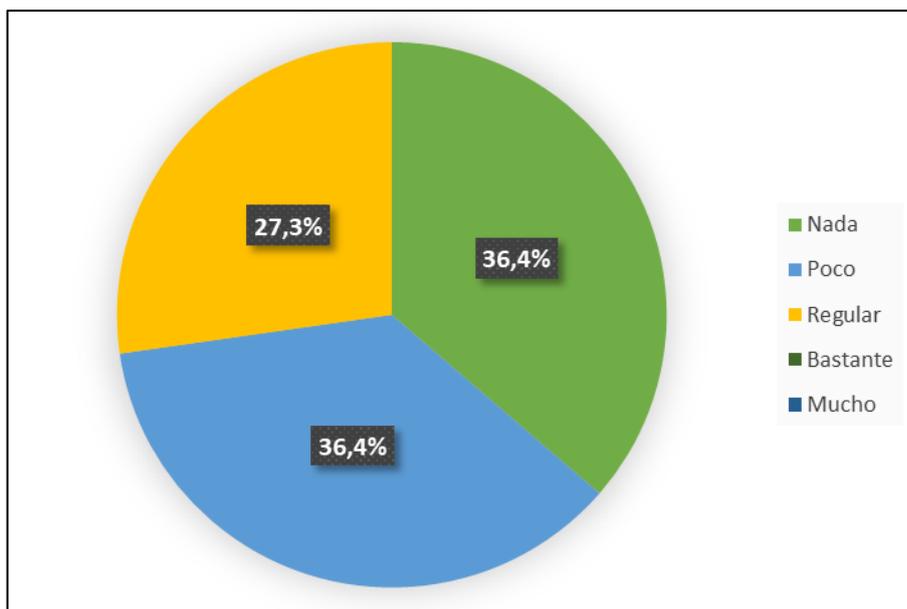
En relación a las molestias de los trabajadores sobre el ruido en su puesto de trabajo se observa en la **Figura 11**, que el 36,4% de los encuestados no les molesta nada, mientras que el 45,5% les molesta poco y finalmente, al 18,2% les molesta regular. A ningún trabajador le molesta bastante o mucho.



**Figura 11.** Distribución de los encuestados según el grado de molestia. Elaboración propia.

### **Perturbación de la concentración**

En relación a la perturbación de la concentración de los trabajadores respecto al ruido en su puesto de trabajo se observa en la **Figura 12**, que el 36,4% de los encuestados no les perturba la concentración en nada, del mismo modo el 36,4% de los encuestados les perturba la concentración poco y finalmente, al 27,3% les perturba la concentración regular. A ningún trabajador les perturba la concentración bastante o mucho.



**Figura 12.** Distribución de los encuestados según el grado de perturbación de la concentración. Elaboración propia.

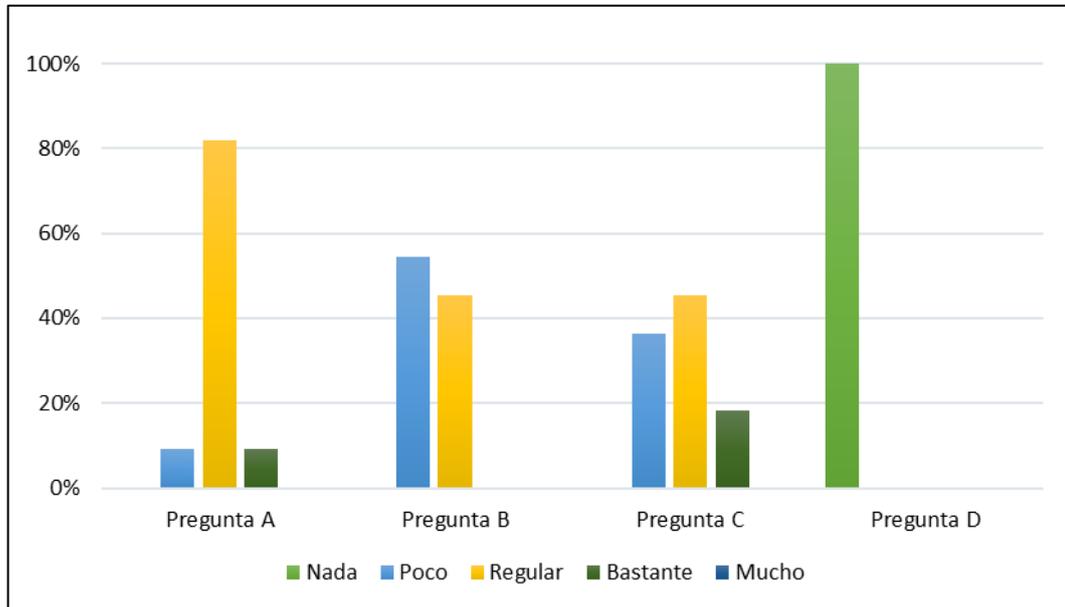
### **Interferencia en la comunicación verbal**

En relación a la interferencia en la comunicación verbal a continuación, se detallan las preguntas:

- Pregunta A: Es necesario elevar el tono de voz para hacerse entender en el desarrollo de su trabajo.
- Pregunta B: Es necesario forzar la atención por parte del receptor a la distancia habitual de trabajo para que resulte inteligible una conversación mantenida con un tono de voz cómodo para el emisor.
- Pregunta C: Los niveles de ruido impiden escuchar señales acústicas relevantes o entender mensajes por megafonía.
- Pregunta D: Existe reverberación en la sala, lo que dificulta la comunicación.

Donde el trabajador percibe esta interferencia, se observa en la **Figura 13**, que respecto a la pregunta A, el 9,09% de los trabajadores consideran que es poco necesario elevar el tono de voz, el 81,82% regular y el 9,09% restante, bastante. Respecto a la pregunta B, el 54,55% de los trabajadores consideran que tienen que forzar poco la atención en una conversación y el 45,45% regular. Respecto a la pregunta C, el 36,36% de los trabajadores consideran que los niveles de ruido impiden poco escuchar señales acústicas, el 45,45% regular y 18,18% restante, bastante.

Respecto a la pregunta D, el 100% de los trabajadores consideran que no existe reverberación, similar al eco, pero con un tiempo de reflexión más corto, ya que, se trata de un área de trabajo abierta. Ningún trabajador respondió alguna de las 4 preguntas con mucho.



**Figura 13.** Distribución de los encuestados según la interferencia en la comunicación de acuerdo a la pregunta. Elaboración propia.

#### 4.2.2. B: Factores de riesgo

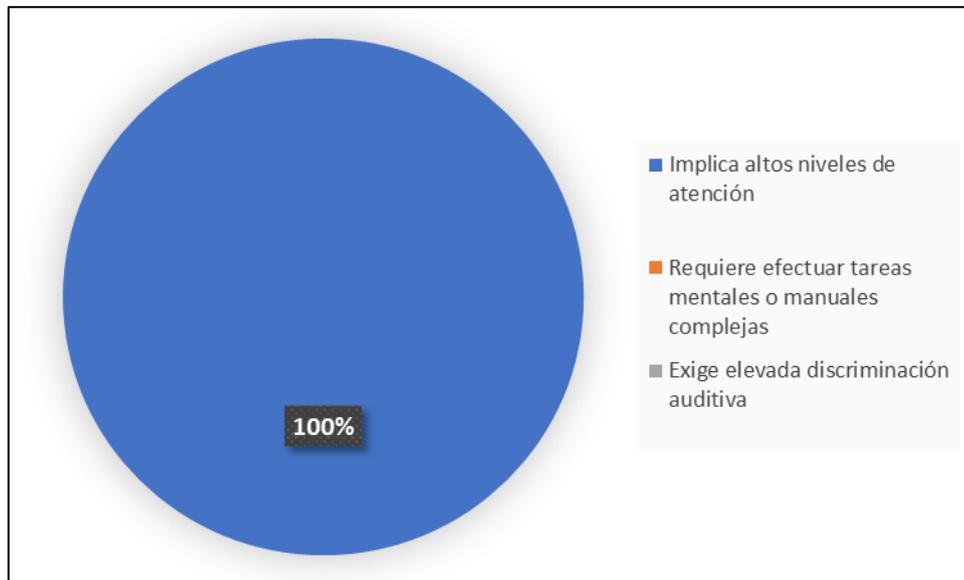
Debido a que las respuestas no involucran “nada” en todas las cuestiones, tampoco “mucho” en algunas, de acuerdo con el esquema presentado anteriormente en la **Figura 7**, se procedió con la parte B del cuestionario de confort acústico.

#### Características de las tareas realizadas

En relación a las características de las tareas realizadas de los trabajadores se observa en la **Figura 14**, que el 100% de los encuestados concuerdan que el trabajo desarrollado implica altos niveles de atención, ningún encuestado contestó que el trabajo desarrollado requiere efectuar tareas mentales o manuales de alta complejidad. Y ningún encuestado contestó que el desarrollo de tarea exige una elevada discriminación auditiva, por ejemplo:

- Reconocimiento de conversaciones.

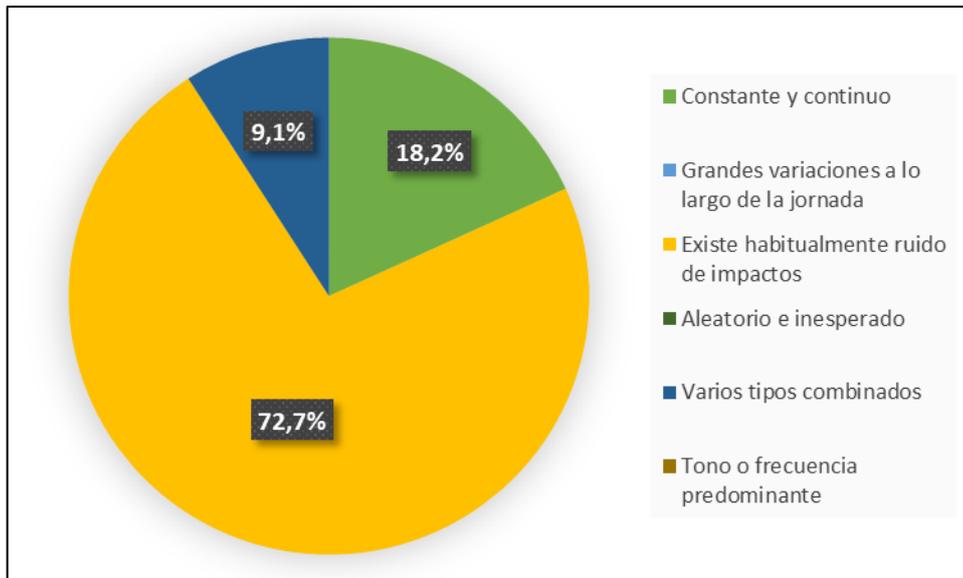
- Reconocimiento de señales de aviso o de alarma.
- Reconocimiento de diferencias y variaciones de sonido, en tono o intensidad.
- Reconocimiento de la posición de los sonidos o tonos.



**Figura 14.** Distribución de los encuestados según las características de las tareas realizadas. Elaboración propia.

### Características del ruido

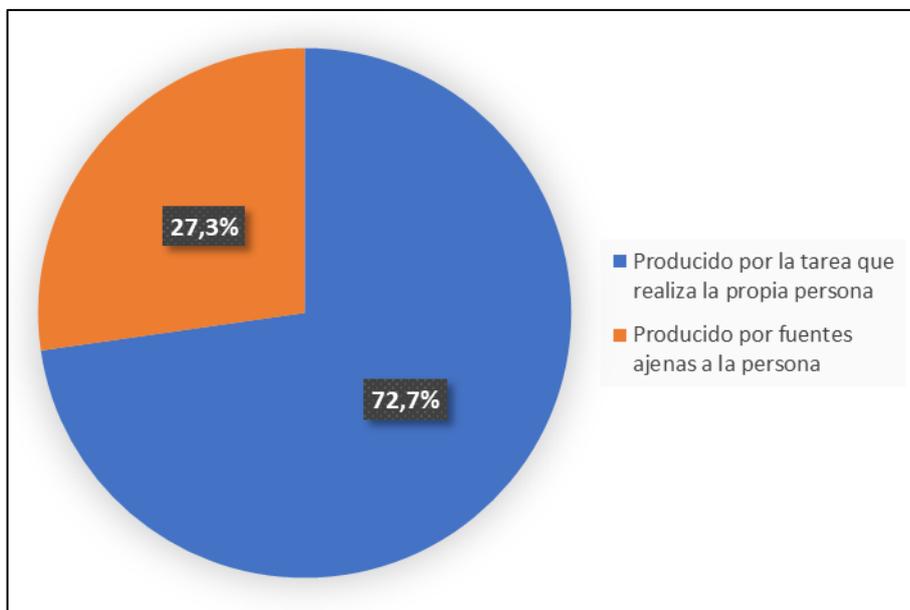
En relación a las características del ruido que perciben los trabajadores, se observa en la **Figura 15**, que el 18,2% de los encuestados considera que el nivel de ruido es constante y continuo en el tiempo, ningún trabajador percibe que el nivel de ruido sufre grandes variaciones a lo largo de la jornada, el 72,7% considera que existe habitualmente ruido de impactos (golpes), ningún trabajador percibe que hay ruido aleatorio e inesperado en algún momento de la jornada que sobresalte a la persona trabajadora, 9,1% considera que existen ruidos de varios tipos combinados habitualmente y ningún trabajador percibe que existe algún tono o frecuencia del ruido predominante.



**Figura 15.** Distribución de los encuestados según las características de las tareas realizadas. Elaboración propia.

### Fuentes de ruido

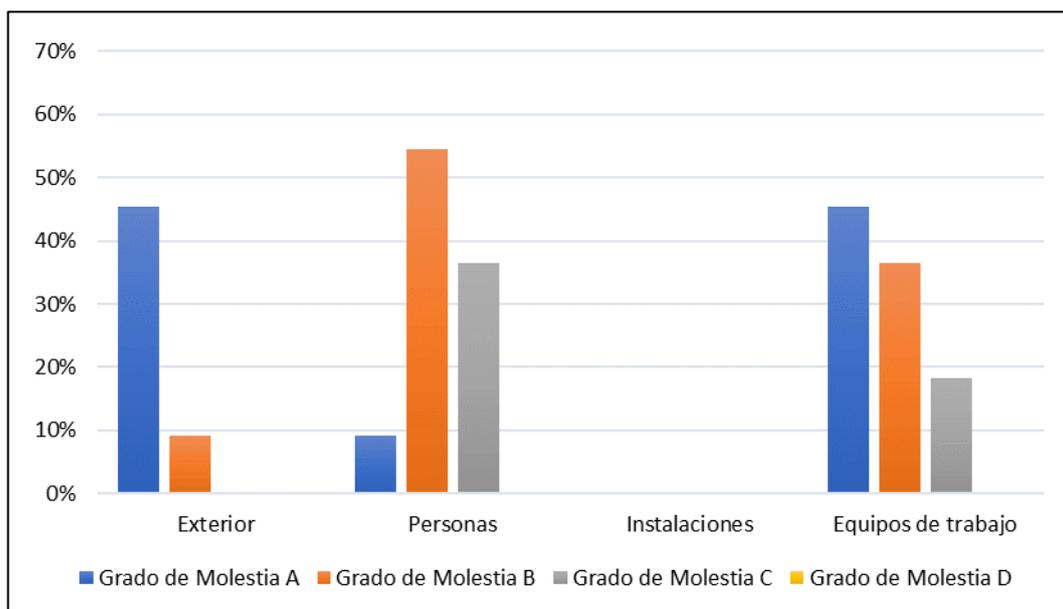
En relación a las fuentes de ruido, se observa en la **Figura 16**, que el 72,7% de los encuestados considera que la principal fuente de ruido es producida por la tarea que realiza la propia persona y 27,3% es producido por fuentes ajenas a la persona. Como el ruido exterior, ruido procedente de personas, ruido de las instalaciones y ruido de equipos de trabajo.



**Figura 16.** Distribución de los encuestados según las fuentes de ruido. Elaboración propia.

En la **Figura 17** se muestra la forma de ruido, ya sea, ruido exterior, ruido proveniente de las personas, ruido de las instalaciones y ruido de equipos de trabajo; en comparación con el grado de molestia, representado por letras (A, B, C y D), donde el grado A representa el grado de molestia más leve y el grado D representa el más fuerte. Cabe recalcar que, no se le asignó un grado de molestia si la persona no siente ninguna molestia relacionada con alguna fuente.

Se observa que, respecto al ruido exterior el 45,45% de los encuestados consideran este tipo de ruido con un grado de molestia A, mientras que el 9,09% con un grado de molestia B y el 45,45% restante, no les genera algún tipo de molestia. Respecto al ruido proveniente de personas, el 9,09% de los encuestados consideran este tipo de ruido con un grado de molestia A, mientras que el 54,55% con un grado de molestia B y el 36,36% con un grado de molestia C. Respecto al ruido de las instalaciones, ningún trabajador considera que les genera algún tipo de molestia. Finalmente, respecto al ruido de equipos de trabajo, el 45,45% de los encuestados consideran este tipo de ruido con un grado de molestia A, mientras que el 36,36% con un grado de molestia B y el 18,18% restante, con un grado de molestia C.

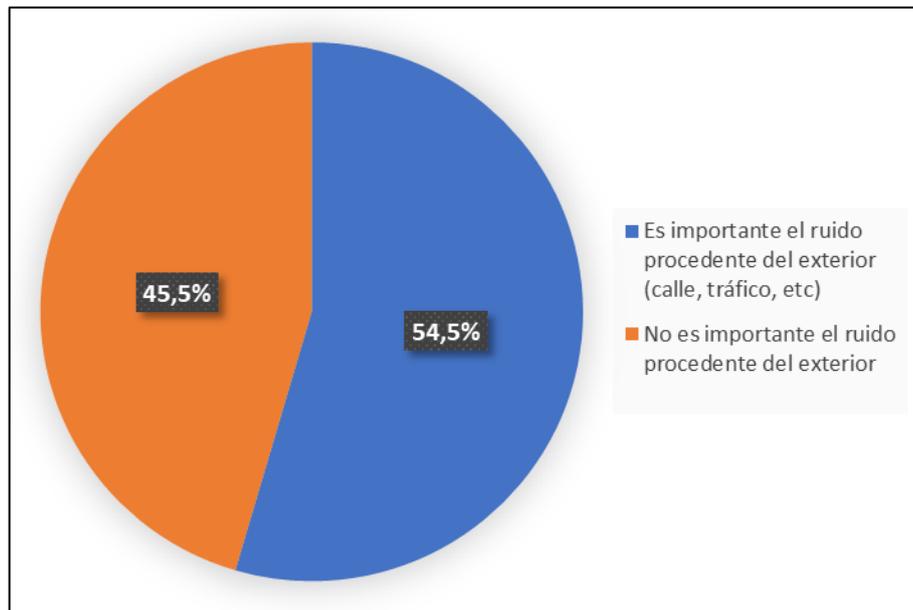


**Figura 17.** Distribución de los encuestados según la forma de ruido de acuerdo al grado de molestia. Elaboración propia.

A continuación, se especifica en subdivisiones la sección de fuentes de ruido.

#### Ruido exterior

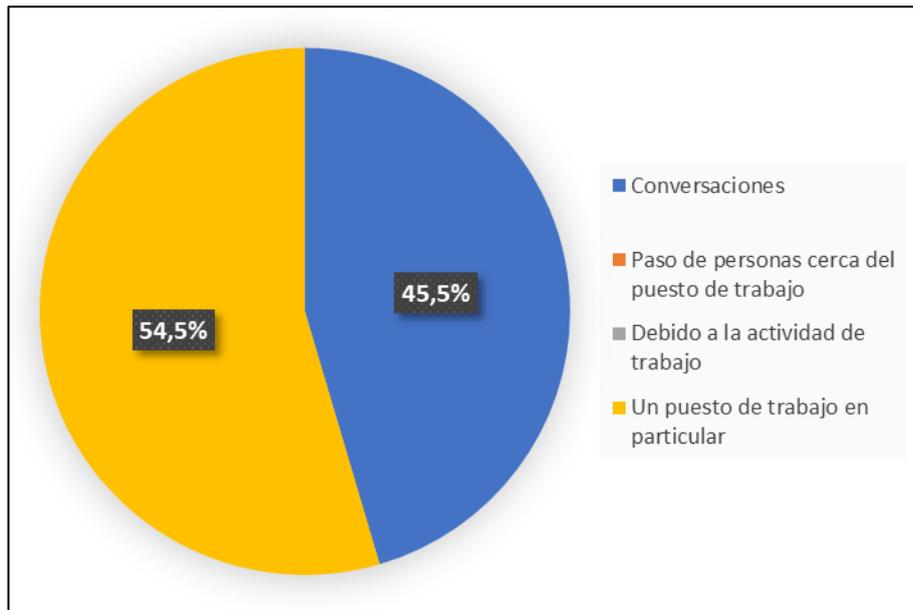
En relación al ruido exterior, se observa en la **Figura 18**, que el 54,5% de los encuestados considera que es importante el ruido procedente del exterior (calle, tráfico, etc) y 45,5% considera que no es importante el ruido procedente del exterior.



**Figura 18.** Distribución de los encuestados según las fuentes de ruido. Elaboración propia.

#### Ruido procedente de las personas

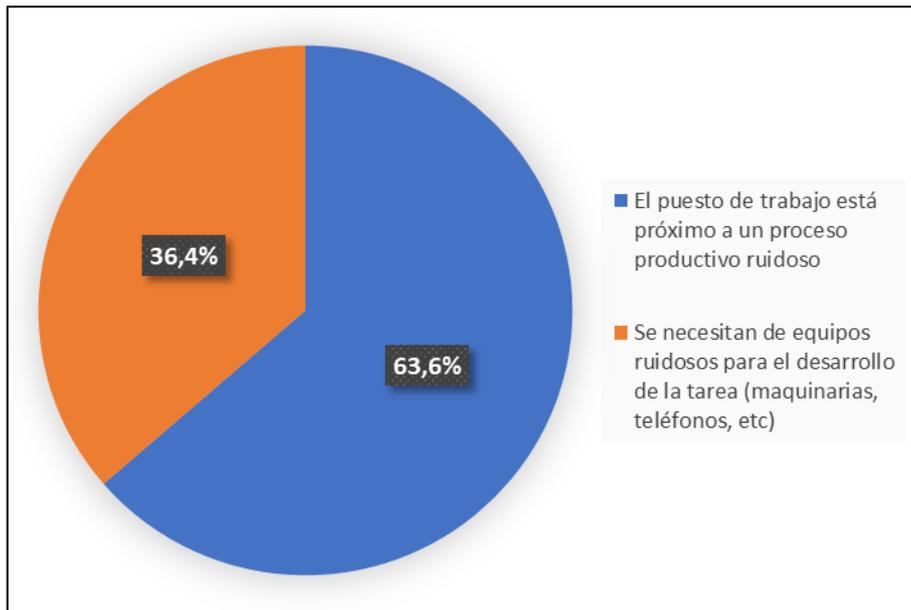
En relación al ruido procedente de las personas, se observa en la **Figura 19**, que el 45,5% de los encuestados considera que la principal fuente es producto de conversaciones, ningún trabajador considera que es por el paso de personas cerca del puesto de trabajo ni debido a la actividad y 54,5% producto de un puesto de trabajo en particular.



**Figura 19.** Distribución de los encuestados según el ruido procedente de las personas. Elaboración propia.

#### Ruido de los equipos de trabajo

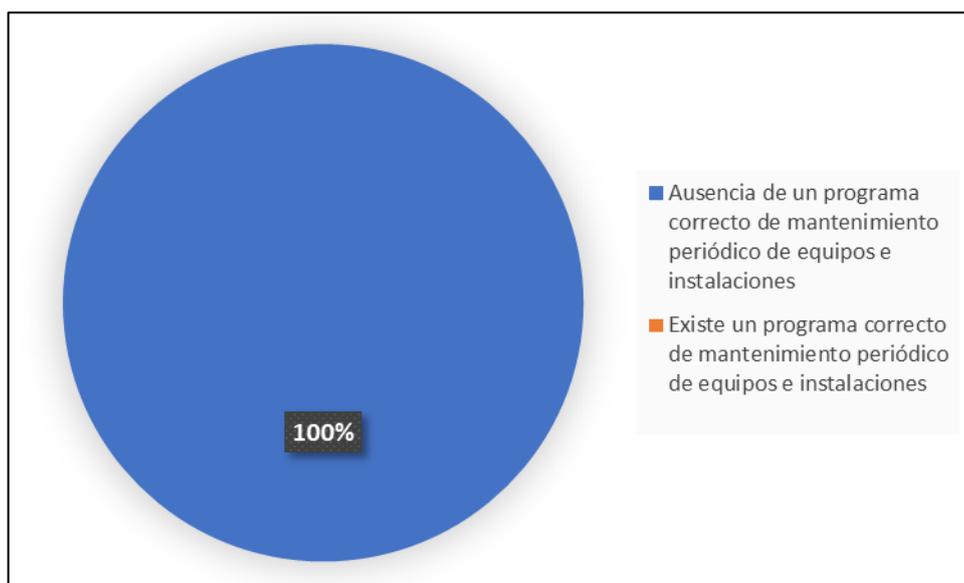
En relación al ruido de los equipos de trabajo, se observa en la **Figura 20**, que el 63,3% de los encuestados considera que la principal fuente es porque el puesto de trabajo está próximo a un proceso productivo ruidoso y el 36,4% considera que se necesitan de equipos ruidosos para el desarrollo de la tarea (maquinarias, teléfonos, etc).



**Figura 20.** Distribución de los encuestados según el ruido de los equipos de trabajo. Elaboración propia.

### Mantenimiento

En relación al mantenimiento, se observa en la **Figura 21**, que todos los encuestados consideran existe la ausencia de un programa correcto de mantenimiento periódico de equipos e instalaciones.



**Figura 21.** Distribución de los encuestados según mantenimiento en el lugar de trabajo. Elaboración propia.

### **4.3. Prueba de hipótesis**

#### **4.3.1. Prueba de Wilcoxon**

Se realizó la prueba de Wilcoxon para determinar si los niveles de presión sonora equivalente de los 210 datos exceden los valores respecto a la R.M. N° 375-2008-TR “Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico ( $H_1: Me \geq 85$  dB).

Del desarrollo de la prueba de Wilcoxon, se obtuvo un p-valor igual a 1, al ser un valor mayor al nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ), existía evidencia estadística para aceptar la hipótesis nula, por lo tanto, se concluyó que a un nivel de confianza del 95% la mediana de los 210 datos de niveles de presión sonora equivalente es menor o igual a 85 dB.

#### **4.3.2. Prueba de Kruskal-Wallis**

Se realizó la prueba de Kruskal-Wallis para determinar si existen diferencias significativas en las medianas de los niveles de presión sonora equivalente en las 6 estaciones.

Del desarrollo de la prueba de Wilcoxon, se obtuvo un valor calculado mayor al valor crítico, a un valor mayor al nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ), existía evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, se concluyó que los niveles de presión sonora equivalente en las 6 estaciones (PR) no son iguales.

#### **4.3.3. Prueba de comparación múltiple**

Se utilizó la prueba de comparación múltiple de Conover-Iman, es una prueba post-hoc de Kruskal-Wallis y proporciona una forma más rigurosa de evaluar las diferencias entre medianas en comparación de múltiples grupos (más de 3). Se realizaron un total de 15 pruebas, cada prueba representa de una comparación entre 2 estaciones, la cual se puede observar en la **Tabla 6**.

Del desarrollo de la prueba de comparación múltiple, se obtuvo a un valor mayor al nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ), que la estación PR-1 al tener la mayor suma de rangos, es el punto donde se genera la mayor cantidad de presión sonora y que existía

evidencia estadística para rechazar todas las hipótesis nulas, ya que en las 15 comparaciones entre todas las estaciones la diferencia es significativa. Por lo tanto, las medianas de los niveles de presión sonora equivalente de la estación PR-i y PR-j no son las mismas. Sin embargo, las diferencias absolutas como se muestran en la **Tabla 6** denotan que, mientras menor sea este valor es porque existen menos diferencias entre niveles de ruido entre esas 2 estaciones (pero no lo suficiente como para no ser significativo) como el caso de PR-1 con PR-6, ya que son las estaciones con mayor nivel de presión sonora. Y si, se obtiene una diferencia absoluta elevada, quiere decir que estas 2 estaciones se diferencian por ser la más ruidosa y la menos ruidosa como el caso de PR-1 y PR-5, respectivamente.

**Tabla 6: Prueba de hipótesis para cada comparación entre todas las estaciones**

Comparaciones (PR-i vs PR-j)	Diferencia Abs	ALS(K-W)	Significancia
PR-1 vs PR-2	62,33	8,15	*
PR-1 vs PR-3	99,06	8,15	*
PR-1 vs PR-4	135,29	8,15	*
PR-1 vs PR-5	160,21	8,15	*
PR-1 vs PR-6	18,83	8,15	*
PR-2 vs PR-3	36,73	8,15	*
PR-2 vs PR-4	72,96	8,15	*
PR-2 vs PR-5	97,89	8,15	*
PR-2 vs PR-6	43,50	8,15	*
PR-3 vs PR-4	36,23	8,15	*
PR-3 vs PR-5	61,16	8,15	*
PR-3 vs PR-6	80,23	8,15	*
PR-4 vs PR-5	24,93	8,15	*
PR-4 vs PR-6	116,46	8,15	*
PR-5 vs PR-6	141,39	8,15	*

Nota: NS: No significativo y \*: Significativo. Elaboración propia.

#### 4.4. Comparación de niveles de ruido y cuestionario

La normativa peruana menciona que para mantener el confort acústico en áreas operativas no se debe sobrepasar los 70 dB(A), del mismo modo lo indica NIOSH con 60 dB(A) y si bien para la OSHA no existe un nivel específico de ruido para el confort acústico, se recomienda seguir las directrices de la OMS, que establece que el nivel de ruido no debe superar los 55 dB(A) para evitar molestias y perturbaciones en la actividad humana. Y la molestia presentada en cierto grupo de trabajadores ya sea poca o regular, de acuerdo con el nivel de presión sonora equivalente en las distintas estaciones, presenta relación con los valores encontrados, específicamente en estaciones que sobrepasan los 75 db(A) como PR-1, PR-2 y PR-6. En todos los casos, se supera este límite de confort acústico lo que genera molestias y una relación muy estrecha con la pérdida de concentración. Ésta se ve afectada por el constante nivel de

presión sonora equivalente a lo largo de la jornada laboral, varían desde 67,1 db(A) hasta 86,9 db(A). Estos valores están en un rango que puede considerarse como potencialmente molestos y pueden tener efectos adversos en la comodidad y la concentración de los empleados, como se observa reflejado en las encuestas.

Respecto a la interferencia en la comunicación verbal, a lo largo de las 3 primeras preguntas (A, B y C), se observa cierto disgusto por parte de los trabajadores para establecer una conversación ya sea como emisor o receptor, por lo que de manera general sí se está generando una interferencia apreciable en la población trabajadora. Además, NIOSH establece que el nivel de ruido no debe exceder los 70 dB(A) para permitir una comunicación verbal clara entre las personas que se encuentran a 1 metro de distancia.

Las características del ruido se ven afectadas por diversos factores a los cuales los trabajadores están expuestos de forma constante y continua, ya que los niveles de ruido no descienden de 67,1 db(A). Los trabajadores indicaron que existe habitualmente ruido de impactos, esto se explica en la estación PR-1 donde los impactos entre materiales de vidrio (principalmente botellas) generan un alto nivel de presión sonora de 86,9 db(A). Incluso, las botellas no son colocadas en el área de segregación, sino que son arrojadas violentamente, generándose de esta manera un ruido mucho mayor al necesario. El resto de los trabajadores pueden escuchar este impacto violento muchas veces a lo largo de la jornada laboral; que de acuerdo a la Ejecutiva de Salud y Seguridad (por sus siglas en inglés HSE) de Reino Unido, es el ruido más fuerte y peligroso generado en una planta de reciclaje por la naturaleza del material a reciclar y su constancia a lo largo de la jornada laboral (Health and Safety Executive, 2021). Por lo que se insiste en instruir a los trabajadores para que dispongan de una manera más sutil este material sin importar invertir unos segundos adicionales, de tal manera que, puede llegar a reducirse el ruido a la mitad (hasta 3 dB).

La normativa peruana es bien clara en establecer valores de ruido ambiental para el horario diurno y nocturno ya sea en zona residencial, comercial e industrial, específicamente nos referimos a un horario laboral diurno y en una zona industrial, cuyo valor máximo es de 80 dB. El ruido exterior (atribuido únicamente al ruido ambiental) puede generar una controversia puesto que, más de la mitad de los trabajadores considera el ruido exterior como significativo, sin embargo, las

mediciones de ruido ambiental variaron desde 58,1 dB(A) hasta 61,7 dB(A). Como se mencionó anteriormente es un equivalente a una conversación normal, por lo que no debería ser un factor considerable de ruido y muy probablemente esté asociado al ruido ocupacional por el constante nivel de presión sonora a lo largo de la jornada. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la percepción del ruido puede variar según las características individuales de cada persona.

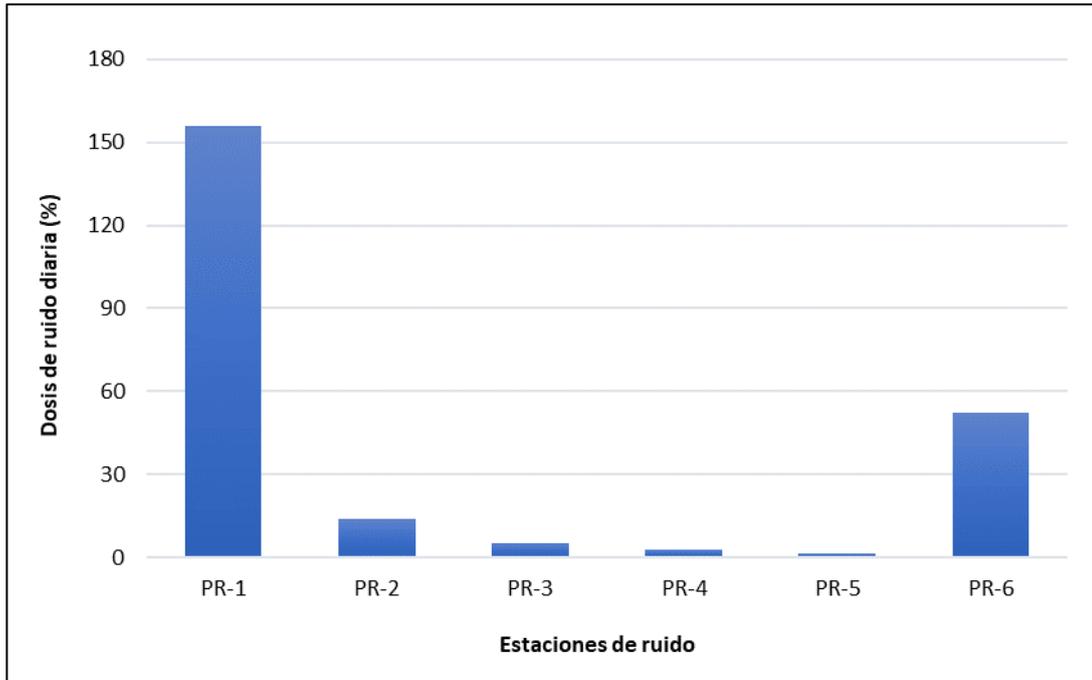
El ruido procedente de las personas de acuerdo con los trabajadores se presenta principalmente por las conversaciones a las personas donde casi todos los trabajadores atribuían este factor a una trabajadora en específico, ya que consideraron que su tono de voz peculiar añadido al hecho que tiene que elevar la voz para poder comunicarse, genera un fastidio al resto. Y por una estación de trabajo en particular, como se explicó previamente debido a la estación PR-1 y el golpe agresivo de los materiales de vidrio. Justamente en este rubro se necesitan los controles administrativos donde se hagan rotaciones de puestos de trabajos y capacitaciones constantes para disminuir los niveles de ruido que pueden ser evitados.

Respecto al ruido de los equipos de trabajo, algunos trabajadores consideraron que se necesitan de equipos ruidosos para el desarrollo de la tarea como la compresora y faja transportadora, cuyo rotor genera cierto nivel de presión sonora. Es precisamente aquí donde se necesitan controles de ingeniería donde se haga un mantenimiento constante a estas 2 maquinarias, de tal manera que no mal funcionen y generen niveles de ruido más elevado de manera innecesaria. Mientras que gran parte de los trabajadores considera que el puesto de trabajo está próximo a un proceso productivo ruidoso por el mismo hecho de segregar materiales que cuando estos impactan entre sí generan un nivel de presión sonora razonable añadido al hecho de la segregación del total del resto de materiales. Este nivel de ruido puede variar según el tipo, la cantidad y la forma de los materiales que se manipulan, así como según la distancia y el ángulo de caída o choque.

#### **4.5. Relación ruido ocupacional y dosimetría**

Se observa en la **Figura 22** el porcentaje de dosis de ruido diaria (D), donde se obtuvieron resultados como 1,6% en la estación PR-5; 2,7% en la estación PR-4; 5,2% en la estación PR-3; 13,2% en la estación PR-2; 52,2% en la estación PR-6 y 155,7% en la estación PR-1 siendo este valor el único que supera el 100% de las dosis. Refiriéndose particularmente a las estaciones distribuidas linealmente desde PR-1 hasta PR-5, se observa una disminución de la dosis de ruido. Esto se debe principalmente por la cercanía a la estación PR-1, ya que es la estación que genera mayor nivel de presión sonora y éste se va disipando con la distancia. Es decir, mientras mayor sea la distancia a PR-1, menor será el nivel de presión sonora. A pesar de que la estación PR-2 se encuentra al lado del rotor que permite el movimiento de la faja transportadora y genera cierto nivel de ruido, no es considerable en comparación con el ruido generado por la cercanía a PR-1.

Entonces se deben considerar que la exposición continua a niveles de ruido elevados puede causar daño auditivo irreversible, de tal manera que dañe las células sensoriales en el oído interno, también puede causar otros efectos negativos en la salud, como estrés, fatiga que podrían terminar a mediano y largo plazo en perturbación del sueño, enfermedades cardiovasculares, mutaciones genéticas, entre otros. Además, se genera el incumplimiento de las regulaciones nacionales e internacionales por ello la importancia de realizar un control de exposición.



**Figura 22.** Porcentaje de dosis de ruido diaria (D) por estación. Elaboración propia.

#### 4.6. Evaluación de zonas que requieren dispositivos de atenuación convencional

Dada la información brindada previamente, la estación PR-1 es la zona donde el uso de algún dispositivo de atenuación convencional es necesario, además al considerar la dosis mayor al 100% pero menor a 1000%, es conveniente el uso de tapones auditivos (OSHA, 2006). El análisis se realizó con tapones auditivos 3M “1100”, el cual se puede observar en la **Figura 23**, cuyo nivel de reducción de ruido ( $N_{RR}$ ) es de 29 dB. En la **Figura 24** se observa el nivel de ruido ocupacional en la estación PR-1 sin el uso de tapones auditivos (color azul) y con el uso de tapones auditivos (color verde), donde se observa, gracias al nivel efectivo de protección ( $N_{EF}$ ), un nuevo nivel de presión sonora equivalente en 8 horas ( $L_{AEX.8h}$ ) de 75,9 dB(A) el cual se encuentra por debajo del LMP de 85 dB(A).



Figura 23. Descripción técnica de los tapones 3M “1100”. Elaboración propia.

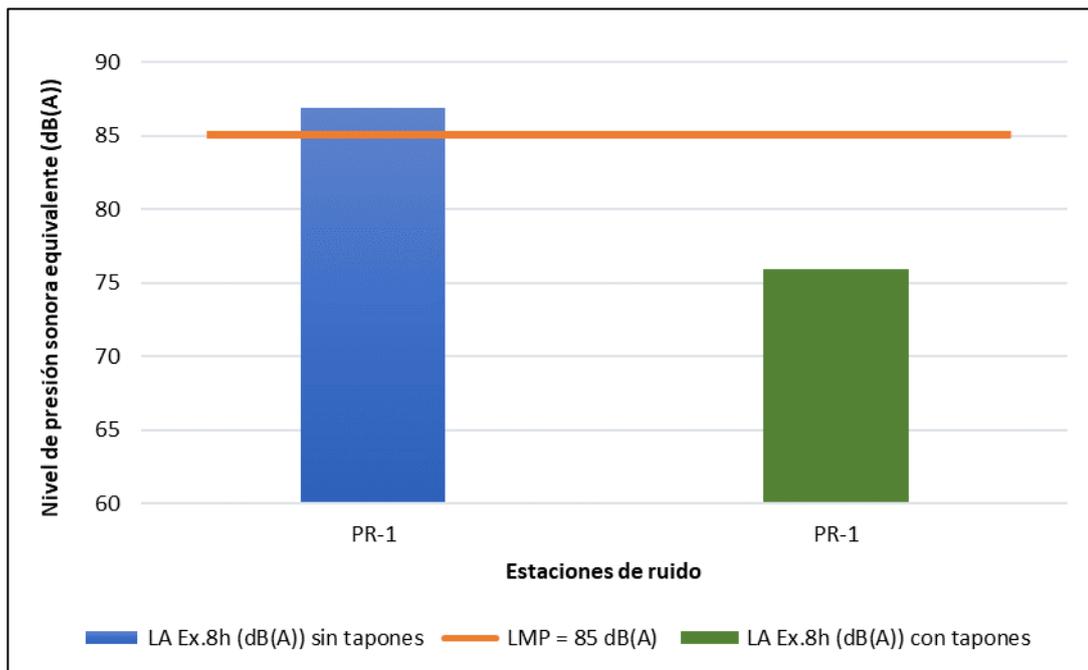
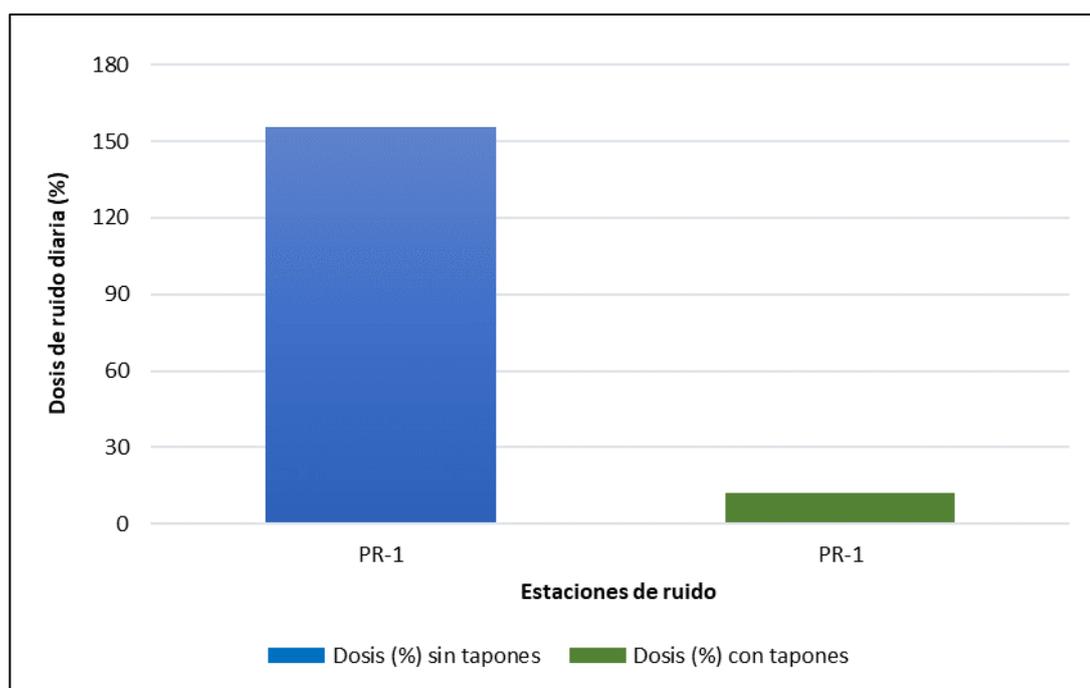


Figura 24. Niveles de presión sonora continuo equivalente en un periodo de 8 horas en la estación PR-1 sin tapones auditivos y con el uso de tapones auditivos. Elaboración propia.

Se observa en la **Figura 25** el porcentaje de dosis de ruido diaria (D) en PR-1, donde se obtuvieron resultados como 155,7% sin el uso de tapones auditivos y 12,3% con el uso de tapones auditivos. Entonces nos referimos a unos dispositivos de atenuación convencional sumamente útiles para el uso de trabajadores en la estación PR-1 de tal manera que se eviten daños a la salud de los trabajadores, además del cumplimiento de las normativas nacionales e internacionales.



**Figura 25.** Porcentaje de dosis de ruido diaria (D) en la estación PR-1 sin tapones auditivos y con el uso de tapones auditivos. Elaboración propia.

## V. CONCLUSIONES

- Se evaluaron los niveles de presión sonora equivalentes con respecto a la R.M. N° 375-2008-TR “Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico” para la planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina, donde en las estaciones PR-1, PR-2, PR-3, PR-4, PR-5 y PR-6, se obtuvieron valores de 86,9 db(A), 76,4 db(A), 72,2 db(A), 69,3 db(A), 67,1 db(A) y 82,2 db(A), respectivamente y se compararon con el cuestionario sobre confort acústico, obteniendo que, estos valores están en un rango que puede considerarse como potencialmente molestos y pueden tener efectos adversos en la comodidad y la concentración de los trabajadores.
- Se evaluó la relación entre el ruido ocupacional y dosimetría en la planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina, en base a la tasa de intercambio de 3 dB y el tiempo de exposición, donde los trabajadores expuestos a niveles más altos de ruido presentan mayores valores en la dosimetría, donde si sobrepasa 85 db(A), es decir el 100% de dosis se pueden generar diversos efectos negativos a la salud de los trabajadores, como el caso de la estación PR-1 con una dosis de 155,7%. Los otros puntos de muestreo no sobrepasaron el 100% de la dosis diaria.
- Se determinó que en la estación PR-1 de la planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina es necesario el uso de dispositivos de atenuación convencional, específicamente tapones auditivos con un  $N_{RR}$  igual a 29 dB, ya que, permite disminuir el nivel de presión sonora equivalente en una jornada laboral de 86,9 dB(A) a 75,9 db(A) y a la dosis de ruido diaria de 155,7% a 12,3%.

## VI. RECOMENDACIONES

- Implementar controles de ingeniería como un sistema visual para detener la faja transportadora, como el encendido y apagado de una bombilla LED, ya que el grito de los trabajadores es elevado desde la estación PR-5 a la estación PR-1, por encontrarse significativamente distanciadas, por lo que genera un nivel de presión sonora elevado que puede ser evitado.
- Instruir a los trabajadores de la estación PR-1 que no arrojen violentamente los residuos de vidrio, sino que se tomen segundos adicionales, de tal manera que puedan disponer este residuo de una forma adecuada y así poder reducir el nivel de ruido.
- Proporcionar capacitación a los trabajadores sobre los riesgos asociados con la exposición al ruido y la importancia de usar adecuadamente el uso de dispositivos de atenuación convencional como tapones.
- Aplicar un enfoque de mejora continua, como un programa correcto de mantenimiento periódico de equipos e instalaciones para reducir la exposición al ruido y proteger la salud auditiva de los trabajadores en el tiempo.
- Realizar exámenes médicos periódicos a los trabajadores, para evaluar la audición de los trabajadores expuestos al ruido y detectar cualquier signo temprano de pérdida auditiva y/o algún efecto negativo en la salud.
- Desarrollar más investigaciones para profundizar en el tema y tomar acciones adecuadas que mitiguen los problemas negativos de salud y seguridad asociados a la exposición prolongada al ruido ocupacional en esta industria y otras.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Berglund, B.; Lindvall, T. & Schwela, D. (1999). *Guidelines for community noise*. Londres, UK. World Health Organization.
- Bonastre, R. (1996). *Manual de Seguridad y Salud en el Trabajo*. 1era. Ed. Madrid, España. 13-20.
- Campos, Y. & Parra, G. (2010). *Diagnóstico Ambiental de la Planta de Reciclaje de Plásticos A.R.B*, Basados en la Norma NTC-ISO 14001.
- Concha-Barrientos, M., Campbell-Lendrum, D., & Steenland, K. (2002). *Occupational Noise: Assessing the Burden of Disease from Work-Related Hearing Impairment at National and Local Levels*. World Health Organization, Protection of the Human Environment, 9.
- Constitución Política del Perú [Const]. Art. 7. 30 de diciembre de 1993 (Perú).
- Copelli, F., Behar, A., Le, T., & Russo, F. (2021). Field Attenuation of Foam Earplugs. *Safety and health at work*, 12(2), 184-191. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2020.09.006>
- Daniel, E. (2007). Noise and Hearing Loss: A Review. *Journal of School Health*, 77(5), 225–231. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.2007.00197>
- Decreto Supremo N° 002-2013-TR. Aprueban la Política Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. 02 de mayo de 2013.
- European Commission, Directorate-General for Environment, (2016). *Evaluation of directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise: final report*. Publications Office. <https://doi.org/10.2779/171432>
- Fleming, C. (1996). Assessment of noise exposure level of bar staff in discothèques. *Applied Acoustics*, 49(1), 85–94. [https://doi.org/10.1016/0003-682x\(96\)82601-6](https://doi.org/10.1016/0003-682x(96)82601-6)

- Franks, J., Stephenson, M., & Merry, C. (1996). *Preventing Occupational Hearing Loss- A Practical Guide*. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Division of Biomedical and Behavioral Science, Physical Agents Effects Branch, 96-110.
- Gómez-Cano, M. (2021). *Ruido: Evaluación y Acondicionamiento Ergonómico – Cuestionario*. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). España.
- GRV Ambient. (2007). *¿Cuál es el funcionamiento de las plantas de reciclaje?* Barcelona, España.
- Harris, C. M. (1995). *Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido*. (3ª ed). McGraw Hill.
- Health and Safety Executive. (2012). *Noise at work: Noise in waste management and recycling*. United Kingdom.
- Health and Safety Executive. (2021). *Controlling noise at work: The Control of Noise at World Regulation 2005*. Guidance on Regulations. United Kingdom.
- Hernández, A. (1998). *NTP 503: Confort acústico: El ruido en oficinas*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. España.
- Hosseinabadi, M. B., Khanjani, N., Münzel, T., Daiber, A., & Yaghmorloo, M. (2019). Chronic occupational noise exposure: effects on DNA damage, blood pressure, and serum biochemistry. *Mutation Research*, 841, 17-22. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2019.04.006>
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI). (2008). *Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental*. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental. (NTP-ISO 1996-2).
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI). (2010). *Acústica. Determinación de la exposición al ruido laboral*. Método de ingeniería. (NTP-ISO 9612).

- International Electrotechnical Commission (IEC). (2013). *Electroacoustics - Sound Level Meters*. Part 1: Specifications (IEC 61672-1).
- International Organization for Standardization (ISO). (2016). *Acoustics - Description, Measurement, and Assessment of Environmental Noise*. Part 1: Basic Quantities and Assessment Procedures. (ISO 1996-1).
- Kardous, C., Themann, C., Morata, T., & Lotz, G. (2016). *Understanding Noise Exposure Limits: Occupational vs. General Environmental Noise*. National Institute for Occupational Safety and Health.
- Lai, A. J., & Huang, C. Y. (2019). Effect of Occupational Exposure to Noise on the Health of Factory Workers. *Procedia Manufacturing*, 39, 942–946. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.395>
- Landeras, M. (2019). Influencia del ruido ocupacional en la siniestralidad y ausentismo laboral en la agroindustria TAL S.A de la ciudad de Trujillo-Perú, 2018-2019. *Revista Ciencia y Tecnología*. 15(1), 125-141.
- Le, T. N.; Straatman, L. V.; Lea, J., & Westerberg, B. (2017). Current insights in noise-induced hearing loss: a literature review of the underlying mechanism, pathophysiology, asymmetry, and management options. *Journal of Otolaryngology - Head & Neck Surgery*, 46(1). <https://doi.org/10.1186/s40463-017-0219-x>
- Lin, C. Y.; Tsai, P. J.; Lin, K. Y.; Chen, C. Y.; Chung, L. H.; Wu, J. L.; & Guo, Y. L. (2018). Will daytime occupational noise exposures induce nighttime sleep disturbance? *Sleep Medicine*, 50, 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2018.05.025>
- Luan, Y.; Doutres, O.; Néglise, H.; & Sgard, F. (2021). Experimental study of earplug noise reduction of a double hearing protector on an acoustic test fixture. *Applied Acoustics*, 176, 107856. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107856>
- Mapfre. (2015). *Manual de higiene industrial* (2ª ed.). Fundación Mapfre.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente (MAGRAMA). (2004). *Conceptos básicos de ruido ambiental*. España.

- Ministerio del Ambiente. (2011). AMC N° 031-2011-MINAM/OGA. Informe Final Protocolo Nacional de Monitoreo Ambiental.
- Miyara, F. (2004). *Ruido Urbano: tránsito, industria y esparcimiento*. Dirección de Medio Ambiente de Uruguay.
- Murphy, E., & King, E. A. (2014). *Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy*. (1.<sup>st</sup> ed.). Elsevier.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (1998). *Criteria for a Recommended Standard, Occupational Noise Exposure*. National Institute for Occupational Safety and Health.
- Occupational Safety and Health Standards (OSHA). (1981). *1910: Occupational Health and Environment Control*, 1910.95 (b)(2).
- Occupational Safety and Health Standards (OSHA). (2006). *OSHA Fact Sheet: Personal Protective Equipment*. U.S. Department of Labor, 4.
- Occupational Safety and Health Standards (OSHA). (2011). *OSHA Pocket Guide Worker Safety Series: Protecting Yourself from Noise in Construction*. U.S. Department of Labor.
- Occupational Safety and Health Standards (OSHA). (2022). *OSHA Technical Manual (OTM)*, 3 (5-F).
- Parris, K & McCauley, R. (2016). *Noise pollution and the environment*. Australian Academy of Science.
- Presidencia del Consejo de Ministros (PCM). (2003). D.S. N° 085- 2003-PCM. Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido.
- Quintero, J. (1999). *Conceptos básicos del ruido ambiental*.
- Resolución Ministerial (RM). (2008). R.M. N° 375-2008-TR. Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico.
- Rodríguez, Y & Baldeón, W. (2018). *Evaluación del ruido y el confort acústico en la Biblioteca Agrícola Nacional. Medicina y Seguridad del Trabajo*. 64 (250), 17-32.

- Sayler, S. K.; Roberts, B. J.; Manning, M. A.; Sun, K.; & Neitzel, R. L. (2018). Patterns and trends in OSHA occupational noise exposure measurements from 1979 to 2013. *Occupational and Environmental Medicine*, 76(2), 118–124. <https://doi.org/10.1136/oemed-2018-105041>
- Skoe, E. & Tufts, J. (2018). Evidence of noise-induced subclinical hearing loss using auditory brainstem responses and objective measures of noise exposure in humans. *Hearing Research*, 361, 80–91. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.01.005>
- Selander, J., Rylander, L., Albin, M., Rosenhall, U., Lewné, M., & Gustavsson, P. (2019). Full-time exposure to occupational noise during pregnancy was associated with reduced birth weight in a nationwide cohort study of Swedish women. *Science of The Total Environment*, 651, 1137-1143. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.212>
- Sørensen, M., & Pershagen, G. (2018). Transportation noise linked to cardiovascular disease independent from air pollution. *European Heart Journal*, 40(7), 604-606.
- Suasaca, L. (2014). *Relación entre el ruido ambiental y la percepción de molestia de los habitantes de la ciudad de Juliaca durante el periodo 2013*. [Tesis de doctorado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. UANCV Repositorio Digital.
- Suter, A. H. (2012). *Engineering controls for occupational noise exposure*. *Sound Vib*, 46, 24-31.
- Teixeira, L. R.; Azevedo, T. M.; Bortkiewicz, A.; Corrêa Da Silva, D. T.; de Abreu, W.; de Almeida, M. S.; de Araujo, M. A.; Gadzicka, E.; Ivanov, I. D.; Leppink, N.; Macedo, M. R.; de S. Macie; E. M.; Pawlaczyk-Łuszczynska, M.; Pega, F.; Prüss-Üstün, A. M.; Siedlecka, J.; Stevens, G. A.; Ujita, Y. & Braga, J. U. (2019). WHO/ILO work-related burden of disease and injury: Protocol for systematic reviews of exposure to occupational noise and of the effect of exposure to occupational noise on cardiovascular disease. *Environment International*, 125, 567–578. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.09.040>
- Velasco, J. (1998). *El Ruido en la Industria. Física y Sociedad. Revista del Colegio Oficial de Físicos*, 11, 15-22.

Wang, D.; Xiao, Y.; Feng, X.; Wang, B.; Li, W.; He, M.; Zhang, X.; Yuan, J.; Yi, G.; Chen, Z.; Dai, X.; Wu, J. & Chen, W. (2021). Association of occupational noise exposure, bilateral hearing loss with atherosclerotic cardiovascular disease risk in Chinese adults. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113776>

World Health Organization (WHO). (2018). *Environmental noise guidelines for the european regions*.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1: Permiso y acceso

Se presenta la constancia de recepción de la solicitud a la municipalidad de La Molina

 Municipalidad de La Molina SUBGERENCIA DE GESTION DOCUMENTARIA PLATAFORMA DE ATENCION AL CIUDADANO	<b>CONSTANCIA DE RECEPCION</b> <b>OFICIO N°00423-2023</b>	CODIGO QR 			
<b>DATOS DEL SOLICITANTE</b>					
NOMBRE	S0386099 - ARGÜERO FLORES, CARLOS GABRIEL				
DOMICILIO FISCAL	CA. ANTHON VAN DYCK No.: 284 Dp.: 201 - SAN BORJA				
DNI	70493868	CORREO	T.FIJO.	T.MOVIL.	984377321
<b>DATOS DEL TRAMITE</b>			FOLIOS : 2		
PROCEDIMIENTO			Datos Registro Tramite		
ASUNTO	REF. PLANTA DE RECICLAJE		Fecha :	10/01/2023	
DESTINO	GERENCIA DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SERVICIOS A LA CIUDAD		Hora :	13:42:25	
OBSERVACIONES			Usuario :	LHINOSTRO	
			FIRMA DEL OPERADOR 		
Para consultar su tramite deberá escanear con un Smartphone el código QR ubicado en la parte superior derecha. <a href="http://m.mdlm.gob.pe/m/isi.php?qr=754757&amp;key=RYYU4H@A@I">http://m.mdlm.gob.pe/m/isi.php?qr=754757&amp;key=RYYU4H@A@I</a> www.munimolina.gob.pe			LHINOSTRO 10/01/2023 13:42:53 Central Telefonica : 313-4444		

La Molina, 10 de enero de 2023

Señor  
**Angel Huaccho Flores**  
Gerente de Desarrollo Sostenible y Servicios a la Ciudad  
Presente. -



Asunto: Solicitud Monitoreo en la Planta de Reciclaje de la Municipalidad de La Molina

Mediante la presente lo saludo cordialmente, a la vez que manifiesto a usted la solicitud de autorización para realizar una actividad de medición de ruido en la Planta de Segregación, por motivo de realizar la parte experimental de mi tesis titulada: **“EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO OCUPACIONAL EN LA PLANTA DE RECICLAJE DE LA MUNICIPALIDAD DE LA MOLINA”**, aprobada en la resolución: N° FC-566-2022, esta investigación tiene el objetivo de evaluar los niveles de ruido en base a la normativa peruana, asimismo, evaluar la relación entre el ruido ocupacional y dosimetría en la planta.

Al respecto pido autorización para el uso de un espacio de la Planta de Segregación de la Municipalidad de La Molina para realizar el monitoreo de ruido ocupacional, con la propuesta de hacerlo entre el lunes 23 de enero y el martes 31 de enero del presente año, durante la jornada laboral únicamente y asegurándole que no perturbaré las actividades realizadas en la planta. Asimismo, los resultados obtenidos podrán ser compartidos con su despacho de considerarlo de interés.

Además, se adjunta la resolución de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina, aprobada el 28 de octubre de 2022, donde se evidencia el tema de mi tesis y mi facultad como tesista. Sin otro particular, me despido agradeciéndole por la atención brindada a la presente solicitud.

Muy atentamente,

**Carlos Gabriel Argüero Flores**  
D.N.I.: 70493868

**Dr. Diego Sotomayor Melo**  
Asesor de Tesis - UNALM

E-mail: gabrielargueroflores@gmail.com  
Celular: 984377321

## Anexo 2: Equipos de trabajo

Se presenta el sonómetro RION NL-42A y el GPS Garmin GPSMAP 64sx.





### Anexo 3: Certificado de calibración

Se presenta el certificado de calibración del sonómetro RION NL-42A.



3-20-41 Higashimotomachi Kokubunji Tokyo 185-8533  
Phone:042(359)7888, Facsimile:042(359)7442

## Certificate of Calibration

**Name** : Sound Level Meter, class 2  
**Model** : NL-42A      **S/No.** : 00523023  
**Date of Calibration** : July, 01, 2022

We hereby certify that the above product was tested and calibrated according to the prescribed Rion procedures, and that it fulfills specification requirements.  
The measuring equipment and reference devices used for testing and calibrating this unit are managed under the Rion traceability system and are traceable according to official Japanese standards and official standards of countries belonging to the International Committee of Weights and Measures.

**RION CO., LTD.**

A handwritten signature in cursive script, appearing to read 'J. Kawamura', is positioned above the printed name of the manager.

Manager, Quality Control Department

#### **Anexo 4: Registro fotográfico**

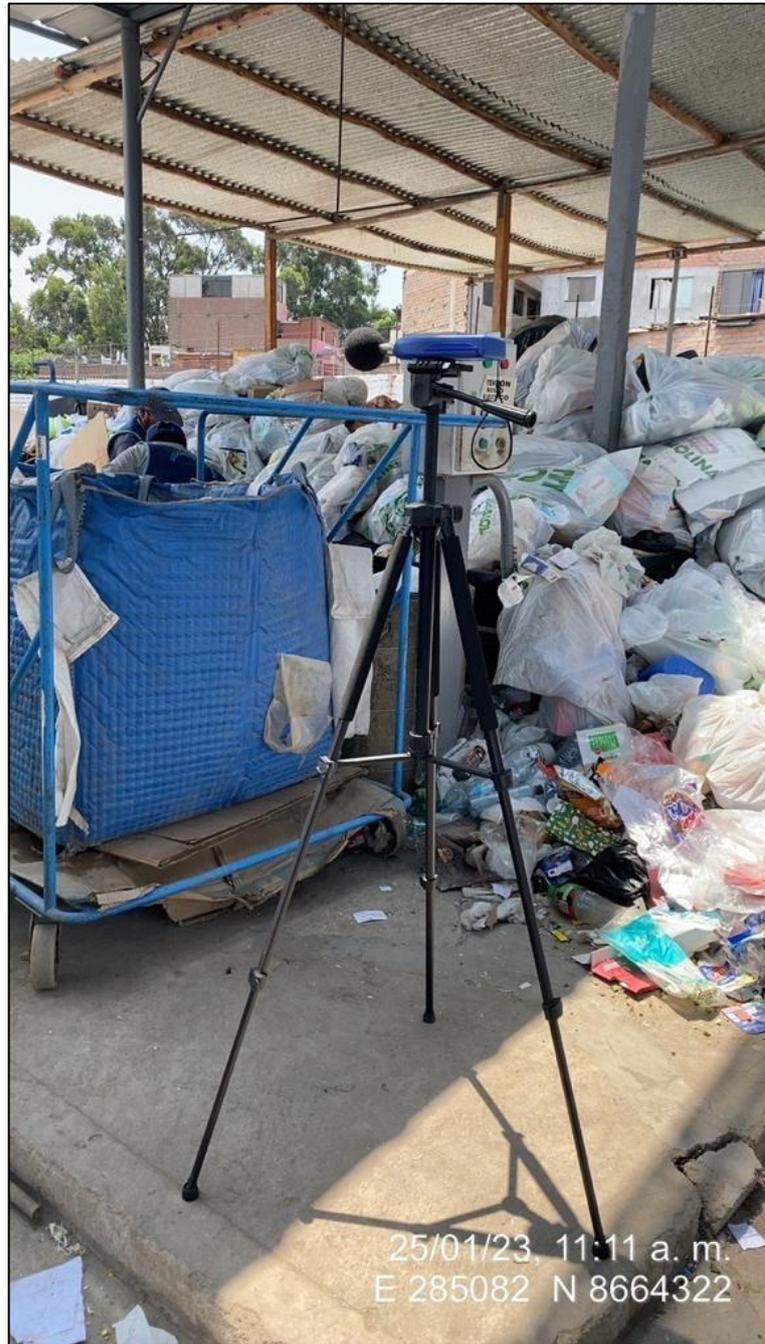
Se presenta el registro fotográfico de la planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina, de las estaciones de ruido ocupacional y ambiental



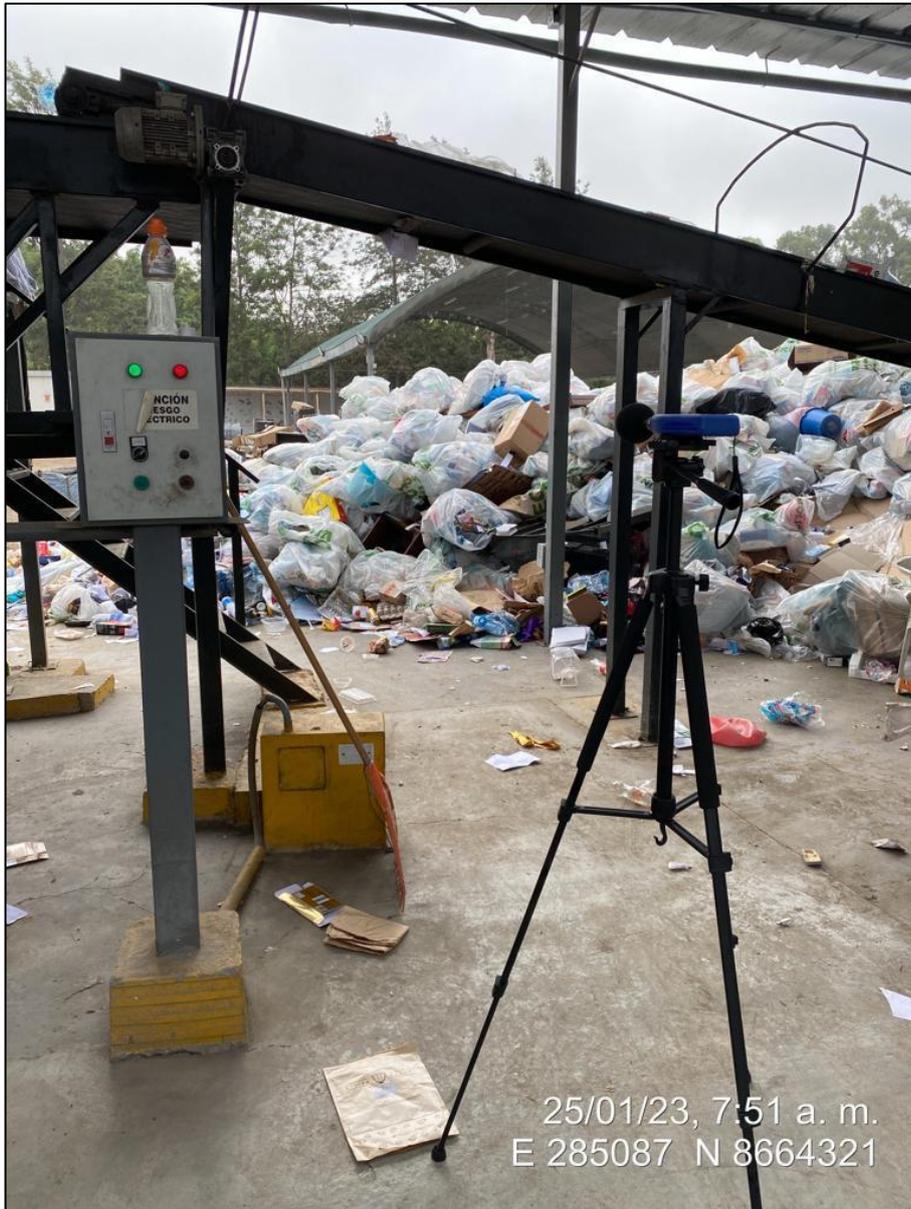
**Fotografía 1.** Planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina desde las oficinas. Elaboración propia.



**Fotografía 2.** Planta de reciclaje de la municipalidad de La Molina desde PR-1. Elaboración propia.



**Fotografía 3.** Estación PR-1. Elaboración propia.



**Fotografía 4.** Estación PR-2. Elaboración propia.



**Fotografía 5.** Estación PR-3. Elaboración propia.



**Fotografía 6.** Estación PR-4. Elaboración propia.



**Fotografía 7.** Estación PR-5. Elaboración propia.



**Fotografía 8.** Estación PR-6. Elaboración propia.



**Fotografía 9.** Estación RA-1. Elaboración propia.



**Fotografía 10.** Estación RA-1. Elaboración propia.

### **Anexo 5: Cuestionario sobre confort acústico del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo**

Se presenta el cuestionario sobre confort acústico del INSST de España.

### III. CUESTIONARIO SOBRE CONFORT ACÚSTICO

#### Identificación del puesto de trabajo

Empresa.....

Área.....

Puesto.....

Nº de personas que ocupan ese puesto .....

Existen quejas previas por el ruido .....

Otros datos .....

#### A: IDENTIFICACIÓN DE EFECTOS SOBRE LA PERSONA TRABAJADORA

##### 1. MOLESTIAS

La sensación de molestia es subjetiva, depende de cada caso particular.  
Es importante constatar en qué momento y durante cuánto tiempo es molesto el ruido.

A la persona le molesta el ruido en su puesto de trabajo.

Indicar en qué grado:

Nada	
Poco	
Regular	
Bastante	
Mucho	

#### Comentarios

.....  
.....  
.....

## 2. PERTURBACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN

Cuando la diferencia entre los niveles de ruido máximo y mínimo es menor de 5 dBA, se habla de «ruido estable» y este, en principio, si se encuentra en un nivel aceptable, no tiene por qué perturbar el mantenimiento del nivel de atención y concentración.

- El ruido existente dificulta la concentración o distrae, dificultando el desarrollo de las tareas.

Indicar en qué grado:

Nada	
Poco	
Regular	
Bastante	
Mucho	

### Comentarios

.....

.....

.....

.....

## 3. INTERFERENCIA EN LA COMUNICACIÓN VERBAL

Si la señal o nivel sonoro de la voz es inferior en 10 dBA al ruido de fondo, su comprensión se reduce al 70%.

- Examine con los trabajadores/as si la comunicación esencial para el desarrollo del trabajo y los avisos necesarios se ven alterados por el ruido.
- Los locales con superficies muy reflectantes presentan tiempos de reverberación elevados, lo que implica dificultades en la comunicación.

- 1  Es necesario elevar el tono de voz para hacerse entender en el desarrollo de su trabajo.
- 2  Es necesario forzar la atención por parte del receptor a la distancia habitual de trabajo para que resulte inteligible una conversación mantenida con un tono de voz cómodo para el emisor.
- 3  Los niveles de ruido impiden escuchar señales acústicas relevantes o entender mensajes por megafonía.
- 4  Existe reverberación en la sala, lo que dificulta la comunicación.

Si alguna de estas preguntas es afirmativa, indicar en qué grado.

Pregunta \ Grado	1	2	3	4
Nada				
Poco				
Regular				
Bastante				
Mucho				

### Comentarios

.....

.....

.....

.....

## B: FACTORES DE RIESGO

### 4. CARACTERÍSTICAS DE LAS TAREAS REALIZADAS

Un mismo ruido puede disminuir la concentración en unos trabajos y ser estimulante en otros, como en las tareas monótonas y repetitivas.

Las tareas que se ven más afectadas negativamente por el ruido son:

- Tareas que requieren alto grado de concentración, aprendizaje o procesamiento analítico. Cuanto más ruido hay, mayor esfuerzo realiza la persona para concentrarse.
- Tareas donde una parte muy importante de su realización incluye la comunicación (conversación – escucha).
- Tareas manuales que requieren gran destreza.
- Tareas simultáneas.
- Tareas de vigilancia.
- Tareas que utilizan señales auditivas.

- El trabajo desarrollado implica altos niveles de atención.
- El trabajo desarrollado requiere efectuar tareas mentales o manuales de alta complejidad.
- El desarrollo de la tarea exige una elevada discriminación auditiva, por ejemplo:
  - reconocimiento de conversaciones,
  - reconocimiento de señales de aviso o de alarma,
  - reconocimiento de diferencias y variaciones de sonido, en tono o intensidad como, por ejemplo, afinación de instrumentos musicales,
  - reconocimiento de la posición de los sonidos o tonos como, por ejemplo, la localización de sonidos críticos en máquinas funcionando, averías, etc.

#### Descripción de las tareas y comentarios:

.....  
.....

## 5. CARACTERÍSTICAS DEL RUIDO

Según las características físicas del ruido, el ser humano presenta diferentes reacciones. La mayor sensibilidad auditiva se localiza entre 500 y 5.000 Hz y esta sensibilidad decrece rápidamente en los extremos del espectro de frecuencias.

Se ha comprobado que los tonos puros (frecuentes en oficinas) son más molestos cuando son audibles y cuando se producen en frecuencias altas. En concreto las frecuencias mayores de 2 kHz (en el rango de frecuencias conversacionales) afectan negativamente en el desempeño de la tarea.

No todos los individuos perciben de la misma manera la presencia de ruido, existen diferencias individuales como edad, sexo, tipo de personalidad, etc. que determinan diferente sensibilidad al ruido. Además, otro factor a tener en cuenta es que la respuesta al ruido está influenciada por la actitud de las personas (motivación, interés por la tarea, etc.) frente a las fuentes de ruido.

Los ruidos esperados son percibidos como menos molestos que los inesperados. Sin embargo, la presencia de ruido continuo procedente del tráfico, conversaciones, equipos, etc., y de ruido variable e impredecible como teléfonos, puertas y equipos puede ser muy molesto, sobre todo si se trata de ruidos que se perciben como «innecesarios y evitables».

- El nivel de ruido es constante y continuo en el tiempo.
- El nivel de ruido sufre grandes variaciones a lo largo de la
- jornada. Existe habitualmente ruido de impactos (golpes).
- Hay ruido aleatorio e inesperado en algún momento de la jornada que sobre salte a la persona trabajadora.
- Existen ruidos de varios tipos combinados habitualmente.
- Existe algún tono o frecuencia del ruido predominante.

### Comentarios

.....

.....

.....

## 6. FUENTES DE RUIDO

Un ruido se tolera mejor cuando es consecuencia inevitable de la actividad desarrollada o cuando el ruido contiene información útil (ruidos que avisan de anomalías, etc.).

Intentar determinar cuál es la fuente de ruido molesto.

- El ruido es producido por la tarea que realiza la
- propia persona. El ruido es producido por fuentes ajenas a la persona.

En caso afirmativo señale y ordene las fuentes de ruido que le resulten más molestas a la persona. En primer lugar, ponga la que se ha considerado más molesta asignándole el número 1, a continuación, la siguiente con el número 2, y así sucesivamente. No asigne un número si la persona no siente ninguna molestia relacionada con alguna fuente.

- Ruido exterior .....
- Ruido procedente de personas .....
- Ruido de las instalaciones .....
- Ruido de equipos de trabajo .....

### Comentarios

.....  
.....  
.....

### 6.1. Ruido exterior

- Es importante el ruido procedente del exterior (calle, tráfico, etc.)

En caso afirmativo pregunte en qué momento de la jornada resulta más molesto.

.....  
.....

## 6.2. Ruido procedente de personas

Hay ruido molesto procedente de personas:

- Conversaciones.
- Paso de personas cerca del puesto de trabajo.
- Debido a la actividad: teclado, abrir cajones, etc.
- Producido por un puesto de trabajo en particular.

Especificar en caso afirmativo.

.....  
.....

## 6.3. Ruido de las instalaciones

El Artículo 11 del Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE), aprobado por **Real Decreto 1027/2007**, de 20 de julio, señala que “*En condiciones normales de utilización, el riesgo de molestias o enfermedades producidas por el ruido y las vibraciones de las instalaciones térmicas, estará limitado*”.

En las oficinas, un posible criterio es limitar el ruido total a 45 dBA. Este criterio viene de la antigua tabla 3.6 del Anexo del Código Técnico de la Edificación (ver más información en el apartado V. Disposiciones legales y normas técnicas correspondientes).

Puede haber reverberaciones molestas. El tiempo de reverberación para una banda de frecuencia dada es el tiempo, en segundos, necesario para que, después de que cese la emisión de ruido, el nivel de presión sonora disminuya 60 dB.

- Existe un sistema de climatización ruidoso.
- Existen otras instalaciones que generan ruido (maquinaria de
- ascensores, etc.). Existe reverberación en la sala que interfiere en la tarea.

Especificar en caso afirmativo (tipo de instalación, localización de las instalaciones, tiempo de funcionamiento, etc.)

.....  
.....

#### 6.4. Ruido de los equipos de trabajo

- El puesto de trabajo está próximo a un proceso productivo ruidoso.
- Se precisa de equipos ruidosos para el desarrollo de la tarea (impresoras, teléfonos, etc.)

Especificar en caso afirmativo (localización de los equipos, tiempo de funcionamiento, etc.)

.....  
.....

#### 6.5. Mantenimiento

A menudo los niveles de ruido se incrementan debido a un mal mantenimiento.

El ruido puede proceder de partes aflojadas o de partes metálicas golpeadas por materiales. Dicho ruido puede reducirse fácilmente con un mantenimiento periódico apropiado. Aspectos a tener en cuenta son la lubricación, los defectos de alineamiento, el equilibrado de masas, etc.

- Compruebe que existe y se lleva a cabo apropiadamente un programa de mantenimiento:
  - las pantallas acústicas absorbentes están bien colocadas,
  - el material absorbente que recubre suelos, techos y paredes está en buen estado.

- Ausencia de un programa correcto de mantenimiento periódico de equipos e instalaciones.

Especificar en caso de encontrar alguna deficiencia:

.....  
.....

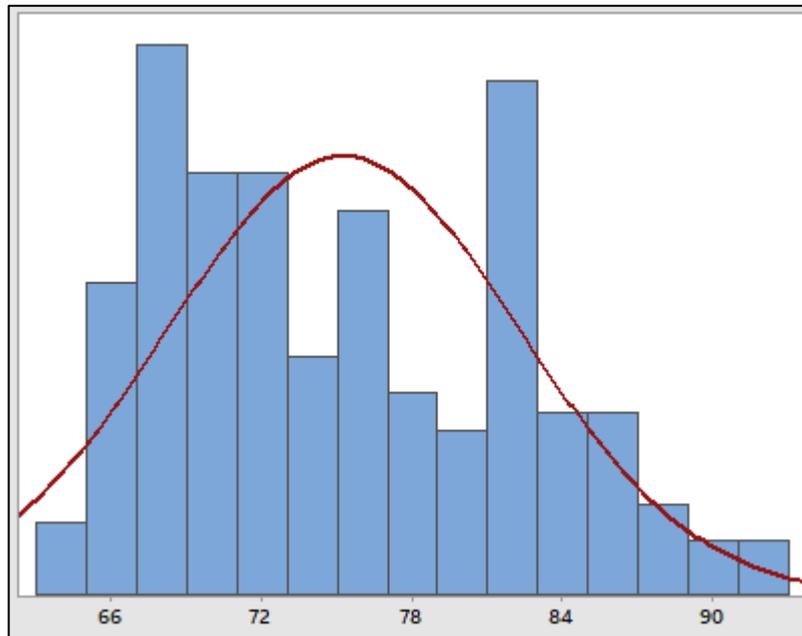
**Comentarios sobre las fuentes de ruido**

.....  
.....

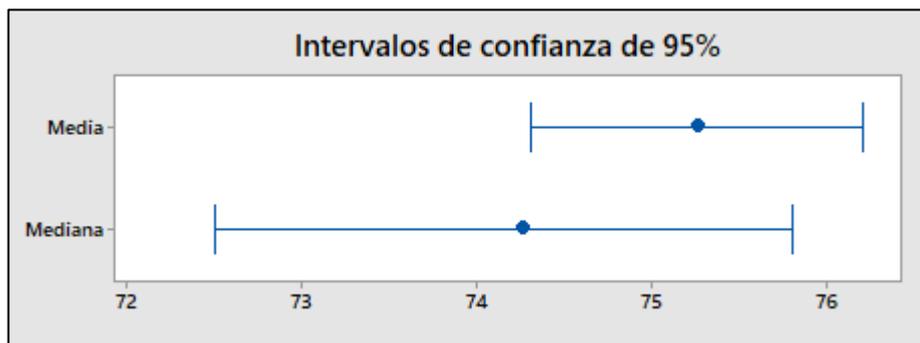
## Anexo 6: Análisis estadístico

Se presentan todas las pruebas estadísticas involucradas en la presente tesis.

Todas las pruebas estadísticas realizadas presentan un nivel de confianza del 95%.



**Figura 1.** Distribución estadística de los 210 datos de nivel de presión sonora continuo equivalente. Elaboración propia.



**Figura 2.** Intervalos de confianza de 95% respecto a la media y mediana. Elaboración propia.

Media = 75,249

Mediana = 74,25

Desviación estándar = 7,003

Varianza = 49,042

N = 210

## Prueba de Normalidad

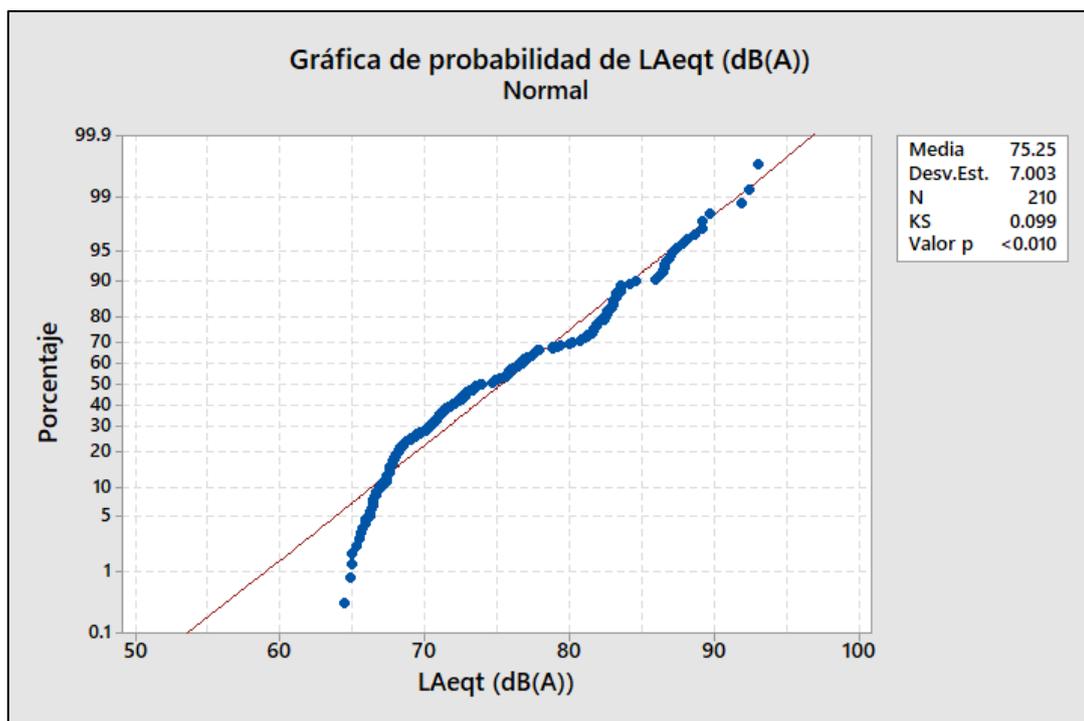
Se utilizó la prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov, en esta prueba se compara la función de la distribución acumulada empírica de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueron normales. En este caso para las estaciones de ruido (PR-1, PR-2, PR-3, PR-4, PR-4 y PR-6).

Donde la hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alterna ( $H_1$ ) serán las siguientes:

$H_0$ : Los 210 datos de los puntos de ruido (PR) tienen una distribución normal.

$H_1$ : Los 210 datos de los puntos de ruido (PR) no tienen una distribución normal.

$\alpha = 0,05$



**Figura 3.** Probabilidad de nivel de presión sonora equivalente en una distribución normal. Elaboración propia.

$$P_{\text{valor}} = < 0,01 \rightarrow P_{\text{valor}} < \alpha$$

Se rechaza  $H_0$ . Por lo tanto, los 210 datos de las estaciones de ruido (PR) no tienen una distribución normal.

## Prueba de Homogeneidad de Varianzas

Se utilizó la prueba de Bartlett, donde uno de los requisitos es que los datos tengan una distribución normal, donde se compara la varianza de las muestras que sean iguales, en este caso para los 35 datos en cada una de las seis (06) estaciones.

Donde la hipótesis nula (Ho) e hipótesis alterna (H1) serán las siguientes:

Ho: La variabilidad de los niveles de presión sonora equivalente es la misma en las 6 estaciones

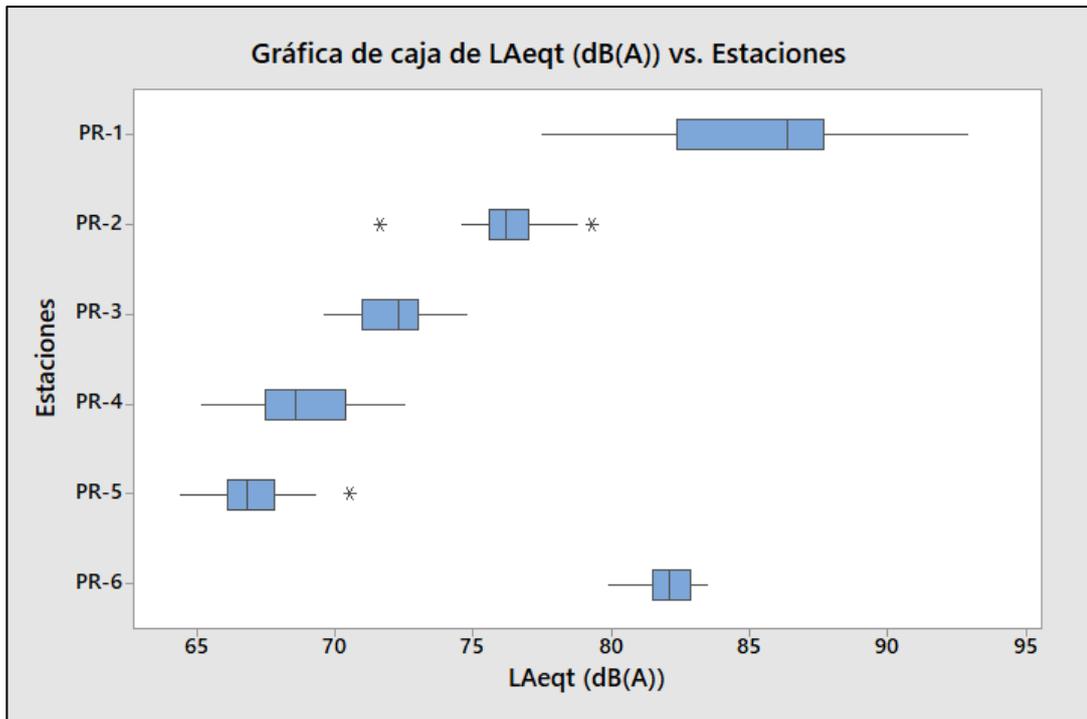
H1: La variabilidad de los niveles de presión sonora equivalente no es la misma en las 6 estaciones

$$\alpha = 0,05$$

C2	N	Desv.Est.	IC
PR-1	35	4.00	(3.02; 5.80)
PR-2	35	1.36	(1.02; 1.97)
PR-3	35	1.27	(0.96; 1.84)
PR-4	35	1.79	(1.35; 2.59)
PR-5	35	1.37	(1.03; 1.98)
PR-6	35	0.87	(0.66; 1.27)

*Nivel de confianza individual = 99.1667%*

**Figura 4.** Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar. Elaboración propia.



**Figura 5.** Gráfico de cajas del nivel de presión sonora equivalente en las 6 estaciones. Elaboración propia.

Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	109.38	0.000

**Figura 6.** Estadístico de prueba de Bartlett para homogeneidad de varianzas. Elaboración propia.

$$Q_{\text{Calculado}} = 109,38$$

$$Q_{\text{Crítico}} = Q_{(0,95, 5)} = 11,07$$

$$Q_{\text{Calculado}} > Q_{\text{Crítico}}$$

Se rechaza  $H_0$ . Por lo tanto, la variabilidad de los niveles de presión sonora equivalente no es la misma en las 6 estaciones.

## Prueba de Wilcoxon

Debido a que los datos no cumplen los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, no se podrá aplicar un análisis paramétrico como ANOVA. Por lo tanto, aplicaremos un análisis no paramétrico como la prueba de Wilcoxon es una prueba donde se comparan las medianas de dos muestras independientes cuando los datos no siguen una distribución normal. Específicamente, ya que no se comparó dos muestras, se comparó la mediana de la muestra de 210 datos, con un valor de referencia como el límite de nivel de presión sonora en una jornada laboral de acuerdo con la R.M. N° 375-2008-TR de 85 dB.

Ho: La mediana de los 210 datos de niveles de presión sonora equivalente es menor o igual a 85 dB.

H1: La mediana de los 210 datos de niveles de presión sonora equivalente es mayor a 85 dB.

$$\alpha = 0,05$$

Número de prueba	Estadística de Wilcoxon	Valor p
210	651.50	1.000

**Figura 7.** Estadístico de prueba de Wilcoxon para comparación de medianas. Elaboración propia.

$$P_{\text{valor}} = 1,0 \rightarrow P_{\text{valor}} > \alpha$$

No se rechaza Ho. Por lo tanto, la mediana de los 210 datos de niveles de presión sonora equivalente es menor o igual a 85 dB.

## Prueba de Kruskal-Wallis

Se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis. Esta prueba se basa en los rangos de los datos y no requiere asumir una distribución específica y se utilizó para determinar si existen diferencias significativas en las medianas de los niveles de presión sonora equivalente en las 6 estaciones.

Donde la hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alterna ( $H_1$ ) serán las siguientes:

$H_0$ : Los niveles de presión sonora equivalente en las 6 estaciones (PR) son el mismo.

$H_1$ : Los niveles de presión sonora equivalente en las 6 estaciones (PR) no son el mismo.

$$\alpha = 0,05$$

Donde:

K: Número total de estaciones, es decir 6.

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	5	192.47	0.000
Ajustado para empates	5	192.48	0.000

**Figura 8.** Estadístico de prueba de Kruskal-Wallis para determinar diferencias significativas. Elaboración propia.

Ya que contamos con más de un dato repetido, usaremos el método ajustado para empates.

$$H_{\text{Calculado}} = 192,48$$

$$H_{\text{Crítico}} = \text{Chi}_{(1-\alpha, K-1)} = H_{(0.95, 5)} = 11,07$$

$$H_{\text{Calculado}} > H_{\text{Crítico}}$$

Se rechaza  $H_0$ . Por lo tanto, los niveles de presión sonora equivalente en las 6 estaciones (PR) no son el mismo.

### **Prueba de comparación múltiple**

Se utilizó la prueba de comparación múltiple de Conover-Iman, es una prueba post-hoc de Kruskal-Wallis y proporciona una forma más rigurosa de evaluar las diferencias entre medianas en comparación de múltiples grupos (más de 3). Se realizaron un total de 15 pruebas, cada prueba representa de una comparación entre 2 estaciones.

Ho: Las medianas de los niveles de presión sonora equivalente de la estación PR-i y PR-j son las mismas.

H1: Las medianas de los niveles de presión sonora equivalente de la estación PR-i y PR-j no son las mismas.

$$\alpha = 0,05$$

Donde:

i y j representan el número de la estación en comparación (1, 2, 3, 4, 5 y 6), considerando que ambas letras no pueden ser el mismo número.

N: número total de observaciones, es decir 210.

K: Número total de estaciones, es decir 6.

$$T_{(1-\alpha/2, N-1)} = T_{(0.975, 204)} = 1,97$$

$$\text{Suma de rangos PR-1} = 6467,5$$

$$\text{Suma de rangos PR-2} = 4286$$

$$\text{Suma de rangos PR-3} = 3000,5$$

$$\text{Suma de rangos PR-4} = 1732,5$$

$$\text{Suma de rangos PR-5} = 860$$

$$\text{Suma de rangos PR-6} = 5808,5$$

La estación PR-1 al tener la mayor suma de rangos, es el punto donde se genera la mayor cantidad de presión sonora.

Ya que en las 15 comparaciones entre todas las estaciones la diferencia es significativa, es decir se rechaza  $H_0$ . Por lo tanto, las medianas de los niveles de presión sonora equivalente de la estación PR-i y PR-j no son las mismas.

### Anexo 7: Mediciones de monitoreo de ruido

Se presentan las tablas de ruido ocupacional y ruido ambiental.

#### Ruido ocupacional

**Tabla 1: Mediciones de monitoreo de ruido ocupacional**

Datos	Hora	Fecha	Estación	Desv. Estándar	LA eq.T	LA Máx	LA Min
1	08:09	25/01/2023	PR-1	+/-0,01	77,5	99,5	59
2	08:38	25/01/2023	PR-1		77,8	94,2	60
3	09:20	25/01/2023	PR-1		79,1	100,7	55,9
4	09:54	25/01/2023	PR-1		78,8	100,1	58,6
5	11:03	25/01/2023	PR-1		83,1	105,9	58,9
6	11:33	25/01/2023	PR-1		84,5	105,9	56,4
7	12:14	25/01/2023	PR-1		83,1	106,7	56
8	08:18	26/01/2023	PR-1	+/-0,02	87,3	106,8	60
9	08:46	26/01/2023	PR-1		86,1	105,2	58,1
10	09:15	26/01/2023	PR-1		80,9	98,4	59,9
11	09:45	26/01/2023	PR-1		85,8	103,7	58,8
12	10:58	26/01/2023	PR-1		92,9	114,7	60,4
13	11:42	26/01/2023	PR-1		86,4	103,6	60,6
14	12:28	26/01/2023	PR-1		91,8	111,4	60,2
15	08:11	27/01/2023	PR-1	+/-0,02	86,6	108,5	59,2
16	08:39	27/01/2023	PR-1		86,2	103,6	59,9
17	09:08	27/01/2023	PR-1		86,4	105,4	59,4
18	09:36	27/01/2023	PR-1		86,5	103,7	59,1
19	11:09	27/01/2023	PR-1		83,4	103,9	59,5
20	11:41	27/01/2023	PR-1		82,4	103,7	59,3
21	12:11	27/01/2023	PR-1		89,1	107,6	57,6
22	08:32	30/01/2023	PR-1	+/-0,03	86,8	107,6	57,6
23	08:59	30/01/2023	PR-1		88	107,6	57,6
24	09:29	30/01/2023	PR-1		86,5	107,6	57,6

**Continuación...**

25	10:48	30/01/2023	PR-1		88,6	107,6	57,6
26	11:33	30/01/2023	PR-1		89,6	107,6	57,6
27	12:02	30/01/2023	PR-1		86,9	107,6	57,6
28	12:35	30/01/2023	PR-1		84,1	107,6	57,6
29	08:02	31/01/2023	PR-1		80,1	107,6	57,6
30	08:26	31/01/2023	PR-1		87,7	107,6	57,6
31	08:55	31/01/2023	PR-1		89,1	107,6	57,6
32	09:33	31/01/2023	PR-1	+/-0,01	92,3	107,6	57,6
33	10:07	31/01/2023	PR-1		87,1	107,6	57,6
34	11:13	31/01/2023	PR-1		82,4	107,6	57,6
35	11:44	31/01/2023	PR-1		80,1	107,6	57,6
36	08:13	25/01/2023	PR-2		75,1	92,7	65,7
37	08:51	25/01/2023	PR-2		76,8	93,2	68,7
38	09:25	25/01/2023	PR-2		74,7	88,8	66,2
39	09:58	25/01/2023	PR-2	+/-0,01	75,6	92,5	66,1
40	11:07	25/01/2023	PR-2		75,7	89,5	66,1
41	11:46	25/01/2023	PR-2		75,6	92,5	65,2
42	12:18	25/01/2023	PR-2		76,8	95,4	66,6
43	08:22	26/01/2023	PR-2		77,7	93,3	59,6
44	08:51	26/01/2023	PR-2		76	93,9	67,1
45	09:19	26/01/2023	PR-2		76,1	92	65,3
46	10:34	26/01/2023	PR-2	+/-0,02	77,6	92,3	66,3
47	11:02	26/01/2023	PR-2		76,7	91,8	66,4
48	11:59	26/01/2023	PR-2		76,5	92,8	64,8
49	12:33	26/01/2023	PR-2		75,7	92	66,1
50	08:15	27/01/2023	PR-2		79,3	96	66,7
51	08:43	27/01/2023	PR-2		78,8	100,3	65,4
52	09:12	27/01/2023	PR-2		76,8	92,7	64,8
53	09:39	27/01/2023	PR-2	+/-0,02	75,7	92,4	65,5
54	11:15	27/01/2023	PR-2		76,8	100,2	65
55	11:57	27/01/2023	PR-2		77,1	91,9	54,7
56	12:16	27/01/2023	PR-2		75,8	91	64,5
57	08:36	30/01/2023	PR-2		75,8	91	64,5
58	09:03	30/01/2023	PR-2		77	91	64,5
59	09:38	30/01/2023	PR-2		77,5	91	64,5
60	10:53	30/01/2023	PR-2	+/-0,03	77,3	91	64,5
61	11:37	30/01/2023	PR-2		76,4	91	64,5
62	12:06	30/01/2023	PR-2		75,4	91	64,5
63	12:39	30/01/2023	PR-2		76,4	91	64,5

**Continuación...**

64	08:06	31/01/2023	PR-2	+/-0,01	75,5	91	64,5
65	08:30	31/01/2023	PR-2		74,6	91	64,5
66	08:59	31/01/2023	PR-2		74,6	91	64,5
67	09:36	31/01/2023	PR-2		74,9	91	64,5
68	10:10	31/01/2023	PR-2		77,4	91	64,5
69	11:17	31/01/2023	PR-2		71,6	91	64,5
70	11:47	31/01/2023	PR-2		76,2	91	64,5
71	08:17	25/01/2023	PR-3	+/-0,01	72,7	87,4	61,6
72	08:55	25/01/2023	PR-3		72,7	88,2	62,9
73	09:29	25/01/2023	PR-3		72,7	86,7	59,6
74	10:02	25/01/2023	PR-3		73,4	90,2	54,7
75	11:21	25/01/2023	PR-3		72,8	87	59,3
76	11:50	25/01/2023	PR-3		71,3	86,1	59,8
77	12:23	25/01/2023	PR-3		71	83,9	61
78	08:26	26/01/2023	PR-3	+/-0,02	70,4	86,5	60,1
79	08:54	26/01/2023	PR-3		73,3	88,4	59
80	09:23	26/01/2023	PR-3		72,3	87,3	59,3
81	10:38	26/01/2023	PR-3		70,8	85,9	59,3
82	11:05	26/01/2023	PR-3		71	88,2	57,8
83	12:02	26/01/2023	PR-3		71,8	92	58,4
84	12:36	26/01/2023	PR-3		69,6	85,9	57,6
85	08:19	27/01/2023	PR-3	+/-0,02	71,4	87,4	59,2
86	08:45	27/01/2023	PR-3		72,3	86,7	59,4
87	09:24	27/01/2023	PR-3		70,7	84,9	55,4
88	09:42	27/01/2023	PR-3		70,1	87,1	59,4
89	11:27	27/01/2023	PR-3		70	88,1	59,6
90	12:00	27/01/2023	PR-3		71,2	89,5	59,4
91	12:29	27/01/2023	PR-3		70,2	87,7	58,2
92	08:39	30/01/2023	PR-3	+/-0,03	71,7	87,8	59,5
93	09:06	30/01/2023	PR-3		73,4	94,3	58,2
94	09:43	30/01/2023	PR-3		70,9	87,9	57,1
95	11:14	30/01/2023	PR-3		74,8	94,2	59,8
96	11:40	30/01/2023	PR-3		72,2	88,5	58,6
97	12:12	30/01/2023	PR-3		73,9	89,5	59
98	12:42	30/01/2023	PR-3		72,8	89,6	58,5
99	08:10	31/01/2023	PR-3	+/-0,01	72,5	95,1	59,2
100	08:34	31/01/2023	PR-3		73,2	91,3	58,9
101	09:02	31/01/2023	PR-3		73,8	90,7	59,1
102	09:40	31/01/2023	PR-3		73,3	90,5	58,7

**Continuación...**

103	10:53	31/01/2023	PR-3		72	89,6	59,1
104	11:21	31/01/2023	PR-3		72,5	89,5	58,8
105	11:51	31/01/2023	PR-3		73	89,3	59
106	08:28	25/01/2023	PR-4	+/-0,01	70,7	86,6	58,5
107	08:59	25/01/2023	PR-4		72,1	88,3	58,3
108	09:33	25/01/2023	PR-4		70,9	87,8	57,6
109	10:15	25/01/2023	PR-4		67,9	90,7	55,9
110	11:25	25/01/2023	PR-4		67,3	86,5	57,5
111	11:54	25/01/2023	PR-4		69	85,2	56,6
112	12:36	25/01/2023	PR-4		67,5	85,7	57,2
113	08:29	26/01/2023	PR-4	+/-0,02	70,3	90,6	57,3
114	08:58	26/01/2023	PR-4		70,4	89,9	57,9
115	09:36	26/01/2023	PR-4		70,1	88,7	57,8
116	10:42	26/01/2023	PR-4		67,7	86,6	56,6
117	11:27	26/01/2023	PR-4		71,1	86,4	58
118	12:06	26/01/2023	PR-4		70,8	87,5	57,3
119	12:40	26/01/2023	PR-4		69,4	86,8	54,1
120	08:22	27/01/2023	PR-4	+/-0,02	68,2	84,4	57,7
121	09:00	27/01/2023	PR-4		70,6	91,3	57,7
122	09:28	27/01/2023	PR-4		68	87,6	57,3
123	09:49	27/01/2023	PR-4		68,3	89	56,8
124	11:30	27/01/2023	PR-4		72,5	89,3	56,7
125	12:03	27/01/2023	PR-4		68,6	87,3	57,4
126	12:33	27/01/2023	PR-4		71,9	97,1	56,5
127	08:51	30/01/2023	PR-4	+/-0,03	68,4	85	58,3
128	09:10	30/01/2023	PR-4		68,4	83	57,1
129	09:47	30/01/2023	PR-4		65,6	82,6	56,8
130	11:18	30/01/2023	PR-4		67,4	84	57,3
131	11:44	30/01/2023	PR-4		67,5	81,2	56,5
132	12:28	30/01/2023	PR-4		65,2	80	56,3
133	12:46	30/01/2023	PR-4		67	83,4	55,4
134	08:16	31/01/2023	PR-4	+/-0,01	67,5	85	56,3
135	08:37	31/01/2023	PR-4		68,9	88,7	57,2
136	09:09	31/01/2023	PR-4		67,8	85,1	57
137	09:43	31/01/2023	PR-4		66,7	81,5	56,8
138	10:56	31/01/2023	PR-4		69,3	90,7	57,4
139	11:24	31/01/2023	PR-4		69,6	85,5	57
140	12:05	31/01/2023	PR-4		70,1	88,2	57,2
141	08:34	25/01/2023	PR-5	+/-0,01	67	78,7	57,7

**Continuación...**

142	09:04	25/01/2023	PR-5		66,5	82,2	57,1
143	09:48	25/01/2023	PR-5		67,7	82,1	61
144	10:58	25/01/2023	PR-5		68,5	86,9	58,6
145	11:29	25/01/2023	PR-5		65,8	81,1	57,2
146	11:57	25/01/2023	PR-5		66,3	81,7	58,3
147	12:40	25/01/2023	PR-5		64,9	78,9	56,1
148	08:33	26/01/2023	PR-5		66,1	85	57,1
149	09:10	26/01/2023	PR-5		68,1	89,4	57,4
150	09:40	26/01/2023	PR-5		66,2	84,7	56,6
151	10:54	26/01/2023	PR-5	+/-0,02	67,3	88,7	57,3
152	11:30	26/01/2023	PR-5		64,9	83,2	57,1
153	12:24	26/01/2023	PR-5		68,1	87,9	57,3
154	12:50	26/01/2023	PR-5		66,1	80,5	55,8
155	08:35	27/01/2023	PR-5		68,2	91,8	56,9
156	09:04	27/01/2023	PR-5		67,7	85,3	57,2
157	09:32	27/01/2023	PR-5		66,8	81	58,3
158	11:05	27/01/2023	PR-5	+/-0,02	65,4	76,6	57,5
159	11:35	27/01/2023	PR-5		66,5	92,7	56,3
160	12:07	27/01/2023	PR-5		64,8	83,1	55,1
161	12:37	27/01/2023	PR-5		65,8	80,3	56,3
162	08:55	30/01/2023	PR-5		66,3	83,6	57,3
163	09:25	30/01/2023	PR-5		67,3	88,8	57,3
164	10:44	30/01/2023	PR-5		70,5	92,3	57,5
165	11:22	30/01/2023	PR-5	+/-0,03	66,4	80	58,1
166	11:47	30/01/2023	PR-5		66,3	89,6	56,5
167	12:31	30/01/2023	PR-5		67,6	88	56,5
168	8:17	31/01/2023	PR-5		69,3	87,3	58,6
169	08:21	31/01/2023	PR-5		67,8	90,8	57
170	08:51	31/01/2023	PR-5		67,9	89,6	57,6
171	09:29	31/01/2023	PR-5		65,5	84,6	58,3
172	10:03	31/01/2023	PR-5	+/-0,01	67,5	87,2	57,1
173	11:10	31/01/2023	PR-5		69	87,2	58,5
174	11:40	31/01/2023	PR-5		67,3	83,9	57,2
175	12:08	31/01/2023	PR-5		64,4	77	55,5
176	14:21	25/01/2023	PR-6		82	82,4	80,4
177	14:25	25/01/2023	PR-6		82,3	83,1	81,5
178	14:28	25/01/2023	PR-6	+/-0,01	81,9	82,8	80,4
179	14:32	25/01/2023	PR-6		79,9	80,8	79,1
180	14:35	25/01/2023	PR-6		81,8	83,8	81,4

**Continuación...**

181	14:39	25/01/2023	PR-6		82,5	83,3	81,8
182	14:42	25/01/2023	PR-6		81,7	82,6	80,2
183	14:27	26/01/2023	PR-6	+/-0,02	80,7	82,7	81
184	14:31	26/01/2023	PR-6		82,5	89,7	81,1
185	14:34	26/01/2023	PR-6		81,7	83,5	81
186	14:38	26/01/2023	PR-6		81,6	82,7	80,9
187	14:41	26/01/2023	PR-6		81,6	82,2	81
188	14:45	26/01/2023	PR-6		83,4	85,3	81,2
189	14:48	26/01/2023	PR-6		83,4	84,8	82,6
190	14:31	27/01/2023	PR-6	+/-0,02	83,1	86,5	81,9
191	14:37	27/01/2023	PR-6		82,9	92	81,7
192	14:40	27/01/2023	PR-6		82,8	83,9	81,9
193	14:44	27/01/2023	PR-6		82,9	83,5	82,1
194	14:48	27/01/2023	PR-6		82,7	83,3	82
195	14:51	27/01/2023	PR-6		82,9	83,5	81,9
196	14:55	27/01/2023	PR-6		83	83,7	81,5
197	14:41	30/01/2023	PR-6	+/-0,03	81,5	87,3	79,7
198	14:44	30/01/2023	PR-6		80,9	82,2	80,1
199	14:47	30/01/2023	PR-6		83,5	93,1	81
200	14:51	30/01/2023	PR-6		81,4	82,8	80,6
201	14:54	30/01/2023	PR-6		82,1	82,7	80,3
202	14:57	30/01/2023	PR-6		82,9	83,5	82,1
203	03:00	30/01/2023	PR-6		82,8	83,4	82
204	14:15	31/01/2023	PR-6	+/-0,01	82,5	83,1	81,5
205	14:31	31/01/2023	PR-6		81,2	91,2	80,4
206	14:34	31/01/2023	PR-6		80,6	93,4	77,7
207	14:38	31/01/2023	PR-6		81,8	92,5	81,4
208	14:41	31/01/2023	PR-6		81,5	92,1	80,8
209	14:45	31/01/2023	PR-6		81,2	83,6	80,3
210	14:48	31/01/2023	PR-6		82,3	87,1	81,9

## Ruido ambiental

**Tabla 2: Mediciones de monitoreo de ruido ambiental**

Datos	Hora	Fecha	Estación	Desv. Estándar	LA eq.T	LA Máx	LA Min
1	07:18	25/01/2023	RA-1	+/-0,01	61,7	76	53,4
2	07:34	25/01/2023	RA-1		60,3	75,9	54,4
3	07:50	25/01/2023	RA-1		60,5	79,2	53,2
4	07:16	26/01/2023	RA-1	+/-0,02	58,9	73,9	53
5	07:32	26/01/2023	RA-1		59,5	73,7	53,6
6	07:48	26/01/2023	RA-1		58,9	72,1	53,1
7	07:20	27/01/2023	RA-1	+/-0,02	60,1	74,3	53,7
8	07:36	27/01/2023	RA-1		60,1	75,3	54,5
9	07:52	27/01/2023	RA-1		58,1	75,3	52,6
10	07:18	30/01/2023	RA-1	+/-0,03	58,7	76,9	51,5
11	07:34	30/01/2023	RA-1		59,4	71,6	53,6
12	07:50	30/01/2023	RA-1		59,2	74,6	52,8
13	07:17	31/01/2023	RA-1	+/-0,01	61	76,7	53,8
14	07:33	31/01/2023	RA-1		60,4	76,2	53,9
15	07:49	31/01/2023	RA-1		60,8	76,1	52,7

### **Anexo 8: Tapones auditivos 3M “1100”**

Se presentan los tapones auditivos 3M “1100”.

