



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Evaluación de los niveles de ruido en el área de producción de la Planta**

**Purificadora de Agua REFEGRA S.A.**

**Trabajo de titulación para optar al título de Ingeniero Industrial**

**Autor:**

**Domínguez Chávez, Alexander Fernando**

**Tutor:**

**Ing. Edmundo Bolívar Cabezas Heredia, Ph.D**

**Riobamba, Ecuador. 2026**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Alexander Fernando Domínguez Chávez**, con cédula de ciudadanía **0650185523**, autor del trabajo de investigación titulado: **“Evaluación de los niveles de ruido en el área de producción de la Planta Purificadora de Agua REFEGRA S.A”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 25 de junio de 2026.



---

Alexander Fernando Domínguez Chávez

C.I.: 0650185523

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **Ing. Edmundo Bolívar Cabezas Heredia, Ph.D** catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **“Evaluación de los niveles de ruido en el área de producción de la Planta Purificadora de Agua REFEGRA S.A.”**, bajo la autoría de **Alexander Fernando Domínguez Chávez**; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 02 días del mes de marzo de 2026.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Edmundo Bolívar Cabezas Heredia', written over a horizontal line.

Ing. Edmundo Bolívar Cabezas Heredia, Ph.D

C.I.: 0602194656

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “Evaluación de los niveles de ruido en el área de producción de la Planta Purificadora de Agua REFEGRA S.A”, presentado por Alexander Fernando Domínguez Chávez, con cédula de identidad número 0650185523, bajo la tutoría del Ing. Edmundo Bolívar Cabezas Heredia, Ph.D; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 25 días del mes de junio de 2026.

Ing. Edison Patricio Villacrés Cevallos, Ph.D  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. Hidalgo Wilfrido Salazar Yépez, Ph.D  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. Fabián Fernando Silva Frey, Mgs  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---



# CERTIFICACIÓN

Que, **DOMÍNGUEZ CHÁVEZ ALEXANDER FERNANDO** con CC: **0650185523**, estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA INDUSTRIAL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA PURIFICADORA DE AGUA REFEGRA S.A.**", cumple con el 5 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILARIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 12 de junio de 2026



Validar únicamente en FirmasGC.  
Firmado electrónicamente por:  
**EDMUNDO BOLIVAR  
CABEZAS HEREDIA**

Ing. Edmundo Bolívar Cabezas Heredia, PhD  
**TUTOR(A)**

## DEDICATORIA

*Escribo esta dedicatoria con sentimientos encontrados. Quisiera plasmar todo lo que siento, pero las palabras no fluyen como me gustaría. Después de reflexionar durante un tiempo, entendí que la mejor manera de comenzar es dedicándole este trabajo a las personas que hicieron posible que hoy este aquí.*

*A mis padres, Mónica Germania Chávez Santos y Franklin Fernando Domínguez Zambrano, porque sin su amor incondicional, paciencia y apoyo constante no sería la persona que soy hoy día, no podría haber llegado hasta este momento, que probablemente sin sus consejos y presencia no pueda llegar hasta donde mis anhelos esperan arribar junto a ustedes.*

*A mis compañeras de vida, a mis hermanas menores, Jennifer, Yefali y Samanta por ser uno de los motores de vida para seguir adelante, por cada risa, por cada enojo, por cada momento compartido que nos hizo crecer juntos. Aunque tal vez la vida nos separe espero siempre volvernos a encontrar, aspiro poder acercarme a ser el mejor hermano que ustedes se merecen.*

*A mis abuelitos, por cuidarme de pequeño, por mostrarme otro enfoque de las cosas y por buscar risas talvez hasta en los peores momentos. Espero llegar a tener esa sabiduría con la que me enseñan y aconsejan. Aspiro talvez en un punto de mí vida poder llegar a parecerme a ustedes y honrar el ejemplo que me han dado.*

*Este logro se los dedico a ustedes, ya que no es solo mío. Es de cada una de las personas que estuvieron aquí, de las que no están y de las que nunca dejaron de creer en mí.*

*Este logro es nuestro.*

*Es por y para ustedes.  
Alexander Fernando Domínguez Chávez*

## AGRADECIMIENTO

*Y se repite otra de las situaciones frecuentes de mí vida, para las personas que me conocen saben que frase sigue “No sé”. No sé, por dónde empezar a agradecer, talvez sea poco o mucho lo que vaya a escribir, pero lo que estoy seguro es que será sincero y de corazón, iniciare agradeciendo a:*

*A Dios, por la vida, por darme fuerza y la motivación de seguir adelante. Solo él sabe lo que me ha costado llegar hasta estas instancias. Gracias por los días buenos, por los no tan buenos y especialmente por los días malos, porque son esos días los que me han recordar quien guía mí camino, y quien hace que no me preocupe por lo que pueda venir.*

*A mis padres, Mónica Germania Chávez Santos y Franklin Fernando Domínguez Zambrano, por enseñarme lecciones que no se aprenden en un salón de clase. Por su confianza y su tiempo depositados en mí, espero jamás decepcionarlos. Gracias por no dejar que me rendiera, por no dudar y por alimentar mis sueños, gracias por sus consejos. No existen palabras suficientes para reflejar toda la gratitud que les tengo.*

*A mis compañeras de vida, a mis hermanas menores, Jennifer, Yefali y Samanta, gracias por tolerarme, por estar, gracias por ese vínculo que compartimos que, aunque nadie lo ve nosotros sabemos existe y que es irrompible, gracias a Dios por no ser hijo único y tenerlas en mí vida, a pesar de ser mis hermanas menores quiero que sepan que he aprendido mucho de ustedes y quiero seguir aprendiendo a su lado.*

*A mis abuelitos y familia, gracias por cada abrazo, por cada sonrisa que me sacaban aun cuando no sabían que lo necesitaba, gracias por tolerar cada enojo o frustración después de cada jornada de clase o simplemente después de salir de mi habitación por no entender o por no haber terminado algún trabajo. Gracias por cada comida llena de risas que me recuerda quién soy, de donde vengo y el lugar al que siempre quiero regresar.*

*A mis amigos, gracias por cruzarse en mi camino, ustedes se convirtieron en una familia durante este largo camino. Gracias por escuchar, por celebrar cada pequeño logro, he aprendido importantes lecciones a su a lado. Las risas, su apoyo y su amistad son regalos muy valiosos que me deja este recorrido. Gracias por compartir esta travesía.*

*A REFEGRA S.A. y al Ing. Edmundo Cabezas, Ph.D, por su invaluable guía, su constante apoyo y la paciencia demostrada a lo largo de este proyecto. Sin sus conocimientos, consejos, claridad y confianza esta investigación no habría sido posible.*

*Y finalmente, a mí, por siempre recordar que “lo importante es lograrlo, sin importar como”. Por mantenerme firme cuando el camino parecía complicado, por no alejarme de quienes me apoyaron sin dudarlos, por siempre tener la meta clara, incluso cuando parecía lejana.*

*Sin ustedes esto no sería posible.*

*Con infinita gratitud y amor.  
Alexander Fernando Domínguez Chávez*

# ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

## **CAPÍTULO I. .... 17**

1. Introducción..... 17

1.1 Antecedentes..... 18

1.2 Problema..... 20

1.3 Justificación ..... 21

1.4 Objetivos..... 22

1.4.1 General ..... 22

1.4.2 Específicos..... 22

## **CAPÍTULO II..... 24**

2. Enfoque teórico ..... 24

2.1 Estado del arte ..... 24

2.2 Marco teórico..... 25

2.2.1 Riesgos laborales ..... 25

2.2.2 Ruido ..... 26

2.2.3 Tipos de ruido..... 27

2.2.4 Fuentes de ruido en entornos industriales ..... 28

2.2.5	Efectos del ruido .....	29
2.2.6	Medidas preventivas .....	31
2.2.7	Sonómetro y calibrador .....	36
2.2.8	Normativas y estándares .....	38
2.3	Marco legal .....	39
2.4	Glosario de términos.....	40
2.4.1	Aislamiento acústico .....	40
2.4.2	Bomba centrífuga .....	41
2.4.3	Decibel dB .....	41
2.4.4	Filtro de ponderación A .....	41
2.4.5	Función del trabajador .....	41
2.4.6	Motor eléctrico .....	41
2.4.7	Tiempo de reverberación .....	42
<b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>43</b>
3.	Metodología.....	43
3.1	Tipo de investigación .....	43
3.2	Diseño de investigación.....	43
3.3	Técnicas de recolección de datos.....	43
3.4	Población de estudio y tamaño de muestra.....	44
3.5	Hipótesis .....	44
3.6	Operacionalización de las variables .....	44
3.7	Metodología aplicada en base a la INEN-ISO 9612.....	45
3.7.1	Etapa 1 – Análisis del trabajo .....	46
3.7.2	Etapa 2 – Estrategia de medición .....	46
3.7.3	Etapa 3 – Plan de medición .....	47

3.7.4	Etapa 4 – Tratamiento de errores e incertidumbre .....	47
3.7.5	Etapa 5 – Evaluación de la incertidumbre y resultados.....	48
3.8	Procesamiento de datos .....	49
3.9	Proceso del sistema de insonorización .....	50
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>51</b>
4.	Resultados y discusión .....	51
4.1	Identificación de las máquinas y medición inicial de los niveles de ruido.....	51
4.1.1	Percepción de los trabajadores ante el ruido en la planta .....	51
4.1.2	Planta purificadora de agua .....	58
4.1.3	Niveles de ruido existentes en la planta.....	61
4.2	Diseño del sistema de insonorización y análisis de propiedades en los materiales	64
4.2.1	Jerarquía de controles .....	64
4.2.2	Análisis de los materiales .....	66
4.2.3	Resultados del diseño .....	69
4.3	Implementación del sistema y mediciones finales .....	70
4.3.1	Implementación del sistema de insonorización.....	70
4.3.2	Mediciones con el sistema de insonorización (PVC + espuma).....	72
4.3.3	Mediciones con el sistema de insonorización (melamina) .....	74
4.3.4	Mediciones con el sistema de insonorización (gypsum) .....	76
4.3.5	Mediciones con el sistema de insonorización (PVC + corcho).....	78
4.3.6	Comparativa previo/posterior al sistema de insonorización.....	79
4.4	Prueba de hipótesis .....	81
4.4.1	Análisis de la variable estadística.....	82
4.4.2	Prueba de Normalidad .....	84

4.4.3	Planteamiento de la hipótesis .....	85
4.4.4	Comparación del nivel de ruido sin material y con el material de mejor resultado 86	
4.5	Discusión .....	91
<b>CAPÍTULO V. ....</b>		<b>92</b>
5.	Conclusiones y recomendaciones .....	92
5.1	Conclusiones.....	92
5.2	Recomendaciones .....	93
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>94</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>102</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Designaciones del sonómetro</i> .....	37
Tabla 2	<i>Estrategias de medición</i> .....	40
Tabla 3	<i>Operacionalización de las variables</i> .....	45
Tabla 4	<i>Duración mínima total de medición a un GEH</i> .....	47
Tabla 5	<i>Contribución a la primera incertidumbre <math>c_{1u1}</math></i> .....	49
Tabla 6	<i>Características de las bombas centrífugas</i> .....	60
Tabla 7	<i>Características de las válvulas en la planta purificadora de agua</i> .....	61
Tabla 8	<i>Periodos de medición del nivel de ruido en la planta</i> .....	62
Tabla 9	<i>Medición de ruido existente en la planta</i> .....	63
Tabla 10	<i>Análisis de propiedades de los materiales</i> .....	67
Tabla 11	<i>Dimensiones del sistema de insonorización por cada máquina</i> .....	69
Tabla 12	<i>Medición de ruido en la planta (PVC + Espuma)</i> .....	73
Tabla 13	<i>Medición de ruido actual en la planta (Melamina)</i> .....	74
Tabla 14	<i>Medición de ruido actual en la planta (Gypsum)</i> .....	76
Tabla 15	<i>Medición de ruido en la planta (PVC + Corcho)</i> .....	78
Tabla 16	<i>Medición LAeq [dB(A)] en la planta</i> .....	81
Tabla 17	<i>Análisis estadístico</i> .....	82
Tabla 18	<i>Pruebas de normalidad</i> .....	84
Tabla 19	<i>ANOVA</i> .....	86
Tabla 20	<i>Análisis estadístico</i> .....	87
Tabla 21	<i>Pruebas de normalidad</i> .....	89
Tabla 22	<i>Prueba T Student para dos muestras relacionadas</i> .....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ruido continuo</i> .....	27
Figura 2 <i>Ruido intermitente</i> .....	28
Figura 3 <i>Ruido de impulso</i> .....	28
Figura 4 <i>Fuentes generadoras de ruido, a) bomba centrífuga y b) motor eléctrico</i> .....	29
Figura 5 <i>Tapones para los oídos</i> .....	35
Figura 6 <i>Orejeras y bandas auditivas</i> .....	35
Figura 7 <i>Sonómetro Cirrus</i> .....	36
Figura 8 <i>Esquema de funcionamiento del sonómetro</i> .....	36
Figura 9 <i>Calibrador sonoro Cirrus CR:515 Clase 1</i> .....	38
Figura 10 <i>Estrategia de medición bajo la normativa INEN-ISO 9612</i> .....	46
Figura 11 <i>Proceso de diseño e implementación del sistema de insonorización</i> .....	50
Figura 12 <i>Respuesta a la pregunta 1</i> .....	51
Figura 13 <i>Respuesta a la pregunta 2</i> .....	52
Figura 14 <i>Respuesta a la pregunta 3</i> .....	52
Figura 15 <i>Respuesta a la pregunta 4</i> .....	53
Figura 16 <i>Respuesta a la pregunta 5</i> .....	53
Figura 17 <i>Respuesta a la pregunta 6</i> .....	54
Figura 18 <i>Respuesta a la pregunta 7</i> .....	54
Figura 19 <i>Respuesta a la pregunta 8</i> .....	55
Figura 20 <i>Respuesta a la pregunta 9</i> .....	55
Figura 21 <i>Respuesta a la pregunta 10</i> .....	56
Figura 22 <i>Respuesta a la pregunta 11</i> .....	56
Figura 23 <i>Respuesta a la pregunta 12</i> .....	57
Figura 24 <i>Respuesta a la pregunta 13</i> .....	57

Figura 26 <i>Identificación de a) la planta purificadora y b) la maquinaria que se emplea</i>	58
Figura 27 <i>Planta purificadora de agua</i> .....	59
Figura 28 <i>Interpolación lineal</i> .....	64
Figura 29 <i>Jerarquía de controles</i> .....	65
Figura 30 <i>Modelado CAD base para el sistema de insonorización</i> .....	69
Figura 31 <i>Materiales del sistema de insonorización como a) melamina y b) espuma flexible</i> .....	70
Figura 32 <i>Ensamble del sistema de insonorización con a) melamina, b) PVC + espuma y</i> <i>c) gypsum</i> .....	71
Figura 33 <i>Implementación del sistema de insonorización con a) melamina, b) PVC +</i> <i>espuma, c) gypsum y d) PVC + corcho, en la planta</i> .....	72

## RESUMEN

El propósito de la presente investigación fue medir los niveles de ruido en el área de producción de una planta purificadora de agua y desarrollar un sistema de insonorización con tres materiales distintos: PVC con espuma flexible, melamina, gypsum y PVC con corcho. Para ello, en una etapa inicial fue necesario determinar de entre las máquinas generadoras de ruido cuáles emitían mayor intensidad, bajo una medición que respondió a las normativas del proceso establecidas por INEN-ISO 9612. Con secuencia, se observaron valores que oscilaban entre los 86,60 a 89,60 dB(A), los cuales superaban el límite normativo establecido por la NTP 270, al respecto de no exceder los 85 dB(A). Posterior a esta caracterización, en una etapa secuencial se desarrollaron tres prototipos de cabinas insonorizadas tomando en cuenta niveles de absorción, densidad y espesor, en cuanto a la disponibilidad, resistencia y facilidad de instalación de los materiales. Cada sistema fue, luego, instalado en la planta para verificar su eficacia con una nueva medición. Esta etapa presentó valores que revelaron representativamente una reducción del 10% al 16% del nivel sonoro incólume, con todos los valores finales del  $L_{Aeq}$ , finalmente, por debajo del límite normativo. El sistema de PVC + espuma, además, reveló un mayor rango de reducción, seguido por la melamina, el gypsum y, finalmente el PVC + corcho. Los alcances de la reducción redundan en cambios sustanciales que colaboraron con la reducción del daño auditivo en el personal expuesto y demostrar la factibilidad de combustibilidad con soluciones facilitadoras y accesibles.

**Palabras claves:** planta purificadora de agua, materiales absorbentes, niveles de ruido, PVC, espuma flexible, melamina, gypsum, corcho.

## ABSTRACT

The purpose of this research was to measure noise levels in the production area of a water purification plant and develop a soundproofing system using three different materials: PVC with flexible foam, melamine, gypsum, and PVC with cork. Initially, it was necessary to determine which noise-generating machines emitted the highest intensity, using measurements that adhered to the process standards established by INEN-ISO 9612. Subsequently, values ranging from 86.60 to 89.60 dB(A) were observed, exceeding the regulatory limit established by NTP 270, which stipulates a maximum of 85 dB(A). Following this characterization, three prototype soundproof booths were developed, considering absorption levels, density, and thickness, as well as the availability, resistance, and ease of installation of the materials. Each system was then installed in the plant to verify its effectiveness with a new measurement. This stage showed values that representatively revealed a 10% to 16% reduction in the unaffected noise level, with all final LAeq values ultimately falling below the regulatory limit. The PVC + foam system also demonstrated the greatest reduction, followed by melamine, gypsum, and finally PVC + cork. The extent of the reduction resulted in substantial changes that contributed to reducing hearing damage in exposed personnel and demonstrated the feasibility of combustion using readily available and accessible solutions.

*Keywords:* water purification plant, absorbent materials, noise levels, PVC, flexible foam, melamine, gypsum, cork.



Reviewed by:  
Geovanny Armas Pesántez, B.A. Mgs.  
**EFL PROFESSOR**  
ID. N°: 0602773301

## CAPÍTULO I.

### 1. Introducción

El actual contexto de operación de industrias de tratamiento de aguas, plantas purificadoras involucra varios desafíos relacionados con la seguridad y salud ocupacional, entre los cuales se encuentra la fuente de ruido industrial. En la planta Purificadora de Agua REFEGRA S.A, ubicada en Riobamba - Ecuador, se genera niveles elevados de sonido, ya que las bombas centrífugas operan simultáneamente en los procesos de captación, osmosis inversa, llenado, desinfección y lavado, estos 2 últimos conllevan también el uso de un motor. La exposición continua a niveles por encima de los 85 dB(A), estándar de referencia de la normativa nacional e internacional, tiene efectos de pérdida auditiva, distracción en la operación, y finalmente, pérdidas en la productividad (Rahman et al., 2022; C. Zhang et al., 2024).

Desde el punto de vista técnico, las más recientes investigaciones confirman que no solo la exposición al ruido daña la audición de los trabajadores, sino que además afecta su rendimiento, incrementa el estrés y provoca otros problemas a su salud en general (Kanu et al., 2025). De acuerdo con los estudios con enfoque en equipos similares, como es el caso de la bomba hidráulica y el motor similar de accionamiento, la cavitación, el flujo turbulento y las vibraciones estructurales son las principales fuentes de ruido (Si et al., 2023). Por lo tanto, dicho conocimiento técnico respalda la prioridad de seleccionar intervenciones en insonorizadores en entornos industriales, ya que protege la audición de los empleados y, al mismo tiempo, complementa las normas de ruido actuales (Bisio et al., 2021).

En definitiva, este estudio resulta relevante para la mitigación del riesgo que corre la salud auditiva de los trabajadores, y para el conocimiento técnico a nivel local de una problemática que ha pasado desapercibida. A su vez, significa una contribución al demostrar cómo el control de ruido se puede integrar a las acciones preventivas de las industrias, en

este caso a la Planta REFEGRA S.A. contribuyendo así a elevar el nivel de seguridad ocupacional y desempeño empresarial.

### **1.1 Antecedentes**

Según (Paco Acosta, 2020) elaboró el trabajo denominado “REPARACIÓN DE EJE DE BOMBA WARMAN 650 MCR MEDIANTE EL PROCESO DE TERMOROCIADO DE PROYECCIÓN DE POLVO POR COMBUSTIÓN”, el cual tuvo por objetivo reparar y evaluar el mantenimiento de eje de bomba gravemente afectado por desgaste superficial, el cual ocasionaba vibraciones y ruido en operación. La metodología es de carácter descriptivo y experimental, los cuales corresponden a una investigación aplicada. Los resultados obtenidos, mostraron que el procedimiento permitió alcanzar las dimensiones nominales y mejorar el comportamiento dinámico de bomba–motor, reduciendo el nivel de ruido y aumentando la vida útil. Asimismo, determinó que la reparación es económicamente sostenible, ya que el ahorro fue \$8400 aproximadamente. Finalmente, el autor concluye que el rociado térmico es una solución efectiva, segura y eficiente para mitigar fallas mecánicas por desgaste y ruido en bombas industriales.

Según (Almeda Barrios, 2022) elaboró tema titulado “CONTRIBUCIÓN AL CONTROL DE RUIDO EN HOTELES. APLICACIÓN EN INSTALACIONES DE VARADERO”, el cual se centra en el problema del ruido de bombas, motores, chillers, y sistemas de ventilación en los hoteles. El objetivo consistió en desarrollar varios métodos de control de ruido a la realidad constructivas y operativas de estos hoteles. La metodología experimental se basó en la combinación de mediciones de nivel de presión sonora ( $L_{Aeq}$ ) con un conjunto de medidas primarias, secundarias, y organizativas, incluso pantallas y cápsulas acústicas. Los resultados indicaron una reducción significativa de ruido ambiental y ocupacional y un aumento de confort y productividad para trabajadores. A base de dichos

resultados, el autor llegó a la conclusión que la utilización de soluciones acústicas adaptadas es efectiva y replicable en otras instalaciones del sector turístico.

El objetivo del artículo “EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA QUE AFECTAN LA CALIDAD LABORAL DEL HOSPITAL LEÓN BECERRA Y PROPUESTAS DE MITIGACIÓN”, desarrollado por (Peñañiel Zúñiga, 2020) fue identificar la magnitud del ruido producido por los equipos, los motores y el tráfico en el área del Hospital, comparada con el nivel permitido por ley del Ecuador. La metodología utilizada fue no experimental, descriptiva y se realizó el estudio con un sonómetro que mida la presión sonora interna y externa de varias áreas del Hospital. Se determinó que los puntos más cercanos a los equipos médicos y a los ventiladores o bombas son las áreas críticas con mayor frecuencia del valor de 70 dB(A) permitido. Se encontraron los mapas de ruido el cual sirvió para determinar las áreas críticas y de exposición antes identificadas. En conclusión, el ruido excesivo afecta el óptimo desempeño del personal y se propusieron otras alternativas de mitigación como la demarcación informativa charlas y mejoras de infraestructura.

En el trabajo elaborado por (Aldas Silva, 2022) y titulado “EVALUACIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL Y VIBRACIONES DE LA EMPRESA MASTER METAL” tuvo como propósito verificar si la exposición al ruido y las vibraciones arrojaban valores permitidos y generar medidas de prevención. Para determinar aquello, el autor empleó una metodología basada en normas internacionales como la ISO 1996-2:2017, la ISO 2631-1 y la NTP 784, tal como sonómetros y vibrómetros para obtener niveles de presión sonora y aceleración RMS en diversas áreas de la planta. Los resultados mostraron un promedio de ruido de 57,5 dB(A), con un 8% de incertidumbre cerca del límite de 60 dB(A) para áreas comerciales, lo que implica posibles excedencias en la medición, en cuanto a la vibración de cuerpo total, se obtuvo un valor máximo de 0,23 m/s<sup>2</sup>, muy bajo respecto del umbral de 0,5

m/s<sup>2</sup> definido en la NTP 784. Como conclusión, determinó que, si bien los valores no exceden los límites reglamentarios, hay riesgo de afectarlos, por lo que se propuso un programa de control de acústica a través del encerramiento de máquinas, mantenimiento de motores, utilización de materiales aislantes, y formación de personal.

## **1.2 Problema**

La Planta Purificadora de Agua REFEGRA S.A., se encuentra localizada en Riobamba - Ecuador, en la calle Bolivia (principal) y Avenida 9 de Octubre (secundaria). Es una compañía ecuatoriana que realiza el tratamiento y envasado de agua purificada, comercializada bajo la marca “D’vida” con presentación principal en botellones de 20 litros. Fue fundada en el año 2020, con el propósito de brindar un producto de alta calidad y seguro para el consumo humano empleando un proceso integral de purificación. Eso incluye una ozonificación, radiación ultravioleta, ósmosis inversa (recicla una parte del agua rechazada con el fin de minimizar las pérdidas de agua), filtración por zeodita, carbón activado y post-carbón, lo que garantiza agua alcalina con un pH promedio de 8,0. Además, se caracteriza por priorizar la sostenibilidad y la salud pública, convirtiéndose en un actor fundamental en el abastecimiento de agua purificada en la provincia de Chimborazo.

En el área de producción de la planta, el problema principal es el ruido generado por operación simultánea de las bombas centrífugas y el motor que operan en los procesos de captación, osmosis inversa, llenado, desinfección y lavado. Según varios autores (Rahman et al., 2022; Ulfa y Sulistyorini, 2021) las máquinas que generan un nivel sonoro mayor a los 85 dB, se produce por varias razones, una de ellas es el golpe de ariete. Este, suele darse cuando existe flujos bruscos, provocando sobrepresiones, presión negativa y cavitación en las tuberías, tal como mencionaron Arefi et al. (2021). No obstante, en la planta se soluciona al abrir/cerrar despacio las válvulas, lo cual disminuye los cambios súbitos de la velocidad del fluido y evitaría que se produzca este fenómeno de la cavitación. Otras razones que generan

el nivel sonoro pueden ser las vibraciones de las máquinas eléctricas y la falta aislamiento acústico de las superficies de la planta. Debido a esto, el personal se encuentra expuesto a fatiga auditiva, estrés y pérdida de concentración.

Ante esta clase de desafío, se plantea un diseño e implementación de un sistema de insonorización que consiste en una serie de elementos aislantes capaces de minimizar el nivel sonoro existente en la Planta Purificadora de Agua. Esta medida no solo busca prevenir daños a la salud de los trabajadores, sino también mejorar las condiciones laborales, promover un entorno más seguro y contribuir al incremento de la productividad y el cumplimiento de la normativa vigente. Por ende, se reducirá la presión sonora a un nivel inferior a los 85 dB.

Finalmente, surge la siguiente interrogante que guía esta investigación: ¿De qué manera la implementación de un sistema de insonorización en el área de producción de la Planta Purificadora de Agua REFEGRA S.A. contribuirá a reducir los niveles de ruido y mejorar las condiciones laborales del personal expuesto?

### **1.3 Justificación**

La relevancia técnica y social de la presente investigación radica en la solución de la problemática real asociada a la exposición de los trabajadores a los niveles de ruido en el área de producción de la Planta Purificadora de Agua REFEGRA S.A. Dicho en forma sencilla, en esta área para asegurar todos los procesos involucrados, se supervisa las bombas centrífugas y el motor. Durante su funcionamiento ininterrumpido, el nivel sonoro supera los 85 dB establecido por el reglamento ecuatoriano e internacional. Cabe indicar, que dicha presión acústica dañina para la salud auditiva y bienestar del personal puede provocar la aparición de hipoacusia ocupacional, estrés y disminución del rendimiento laboral. Así mismo, la investigación contribuirá a la prevención de los riesgos laborales, ya que el problema será abordado objetivamente, garantizando los niveles recomendados.

Con relación al nivel académico y práctico, la investigación contribuye con el campo de acción de la Ingeniería Industrial mediante la combinación de conceptos de acústica, ergonomía y administración de riesgos, los cuales, a su vez, se emplearon con el objetivo de administrar un sistema de insonorización competente con ambientales industriales. Dicho sistema aplicó esfuerzos a través de componentes fono aislantes y antivibración contribuyendo a la eliminación de la influencia causada por ruido en la planta y a la creación de un ambiente de trabajo amigable, seguro y apropiado. Otro aspecto importante es que la propuesta crea un valor para la empresa REFEGRA S.A. asociado a la implementación de mejores condiciones operacionales, alta en la productividad del personal y acción en la imagen institucional de la empresa a favor del bienestar de los trabajadores. Finalmente, debe declararse la conformidad de la propuesta con la misión de desarrollo sostenible en la medida que contribuye con la salud y el trabajo, consolidando la relevancia para el campo universitario, productivo y social de la provincia de Chimborazo.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 General***

Evaluar los niveles de ruido en el área de producción de la Planta Purificadora de Agua REFEGRA S.A., para el diseño e implementación un sistema de insonorización que permita la mejora del ambiente laboral y la prevención de riesgos en la salud auditiva de los trabajadores.

### ***1.4.2 Específicos***

- Identificar las máquinas que generan mayor emisión sonora en el área de producción, mediante la medición de los niveles de ruido con equipos especializados, para la determinación de las fuentes críticas que requieren intervención.

- Diseñar un sistema eficaz de insonorización, a través del análisis de las propiedades acústicas y la compatibilidad con el entorno, para la selección de materiales aislantes de ruido adecuados.
- Implementar el sistema de insonorización en el área de producción y evaluarlo, para la reducción los niveles de ruido y mejora de las condiciones laborales del personal.

## **CAPÍTULO II.**

### **2. Enfoque teórico**

#### **2.1 Estado del arte**

La exposición al ruido es uno de los riesgos laborales y ambientales más importantes a nivel mundial y afecta la salud auditiva y cardiovascular de millones de personas (International Labour Organization [ILO], 2024). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) e ILO informaron que alrededor del 17% (equivalente a 22 millones de trabajadores en los Estados Unidos) están expuestos a niveles de ruidos por encima a los 85 dB(A), específicamente en procesos de construcción e industriales (Teixeira et al., 2021). De igual manera, (Gómez-García et al., 2024) evidenciaron en un 24,6% (426 personas) una exposición al ruido según una encuesta a 1.729 trabajadores en Quito y Guayaquil. Ambos estudios reflejan la necesidad de implementar medidas preventivas y sistemas de monitoreo para mitigar este contaminante de la productividad y salud laboral.

Desde el punto de vista teórico, autores como (Herisanu y Marinca, 2022; Pleban, 2020) brindan las bases suficientes para entender los fenómenos de vibración estructural y producción de ruido en la maquinaria rotativa. El primero describe el comportamiento de sistemas fluido-estructura acoplados y técnicas de control pasivo mediante materiales multicapas, mientras que el segundo informa sobre los métodos de evaluación de la exposición sonora y redacción de medidas de control bajo las normas ISO 9612:2009 e ISO 1996-2:2017, respectivamente. De igual manera, (Pawelczyk y Wrona, 2022) ofrecieron recomendaciones prácticas sobre diseño de recintos y encapsulamientos acústicos en coherencia con la ISO 15667 de pantallas y cerramientos; indicando que el diseño de carcasas y recintos acústicos disminuye entre el 20 al 40 % del ruido transmitido aéreamente. En cambio, (Brauer, 2022) integró la gestión del riesgo por ruido en la salud laboral, abordando control de fuentes, transmisión y recepción. Por ende, esta normativa consolida

el marco teórico-normativo para esta investigación, de modo que la evaluación del ruido en la planta REFEGRA S.A. sigue estándares internacionales y mejores prácticas en la carrera.

En cuanto a avances científicos, (Moravec et al., 2021) publicaron un modelo integral para la reducción del ruido en operaciones industriales, utilizando análisis de fuentes dominantes y soluciones de ingeniería tales como recintos acústicos y materiales absorbentes. Por otro lado, (Remache et al., 2024) abordaron la relación entre cavitación, vibración y ruido en bombas hidráulicas, señalando la relevancia de los parámetros hidráulicos en la generación sonora. En conjunto, ambas contribuciones dan cuenta de que el problema del ruido industrial debe ser solucionado a partir del diagnóstico mecánico y la implementación de medidas acústicas estructurales. No obstante, al no encontrar estudios relacionados al tema de investigación en Ecuador, se vuelve una base esencial a desarrollar en la planta REFEGRA S.A, orientada a evaluar los niveles de ruido e implementar un sistema de insonorización eficiente, con el propósito de verificar el impacto sobre la salud laboral y el marco normativo.

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Riesgos laborales**

Los riesgos laborales se conceptualizan como la probabilidad de que un trabajador sufra un daño como resultado de condiciones en el ambiente de trabajo, en lo material, organizacional y ambiental. Por lo general, los tipos de riesgos son suelen ser físicos, químicos, biológicos, de seguridad, ergonómicos y psicosociales; cada grupo de agentes causa diversos efectos en la salud (Decreto Ejecutivo 255, 2024; Díaz, 2025).

Por su parte, el riesgo físico es definido por la exposición del trabajador a agentes del ambiente que generan daños inmediatos o acumulativos en la salud del trabajador, tal como lo establece el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo. Los agentes físicos más importantes en el ambiente laboral son las temperaturas extremas, el ruido, las

vibraciones, la iluminación inadecuada, la radiación ionizante y no ionizante; y la humedad del aire (Decreto Ejecutivo 255, 2024).

### 2.2.2 Ruido

El ruido se refiere a cualquier sonido no deseado o molesto formado por la superposición de ondas sonoras de distinta frecuencia y amplitud, cuyo  $L_{Aeq}$  es expresado en decibelios ponderados A [dB(A)] para representar la percepción auditiva del ser humano (Echeverri, 2024). En base a la norma *International Organization for Standardization (ISO) 9612*,  $L_{Aeq}$  equivale a 10 veces el logaritmo decimal del cociente entre la presión sonora cuadrática media ponderada ( $p_A^2$ ) durante un periodo de tiempo (T que va desde  $t_1$  hasta  $t_2$ ) y una presión de referencia al cuadrado ( $p_0^2$ ), tal como se visualiza en la Ecuación 1; donde  $P_0$  es igual a 20  $\mu$ Pa.

$$L_{Aeq} = 10 \log \left( \frac{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt}{p_0^2} \right) \text{ [dB]} \quad (1)$$

También se puede calcular tal como se expresa en la Ecuación 2 según las disposiciones mencionadas en la guía de buenas prácticas de la Norma Técnica de Prevención NTP 270 (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INSST], 1992), donde  $n$  representa el número total de mediciones  $L_i$ .

$$L_{Aeq} = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \right) \text{ [dB(A)]} \quad (2)$$

En cambio, si el nivel de ruido se somete a una jornada laboral de 8 horas, este valor  $L_{EX,8h}$  se determina a través de la Ecuación 2; donde  $L_{p,A,eqT_e}$  representa el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado para la duración efectiva en horas ( $T_e$ ), mientras que  $T_0$  es la duración de referencia e igual a 8 horas.

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq} + 10 \log \left( \frac{T_e}{T_0} \right) \text{ [dB]} \quad (3)$$

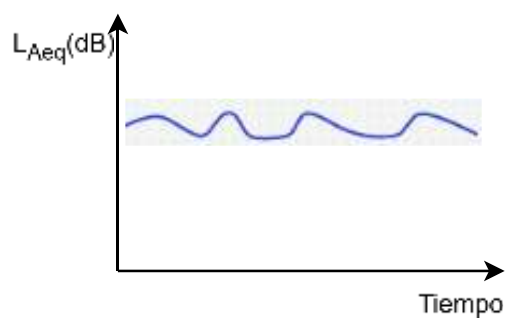
### 2.2.3 Tipos de ruido

Según la (ISO 9612, 2025) y el (INSST, 1992) bajo la NTP 270, el ruido se puede clasificar según su comportamiento temporal y modo de generación, de la siguiente manera:

- El ruido continuo (ver Figura 1) es aquel con un  $L_{Aeq}$  que varía con poca frecuencia, es decir, inferior a 5 dB(A) durante el período de observación (INSST, 1992).

#### Figura 1

*Ruido continuo*

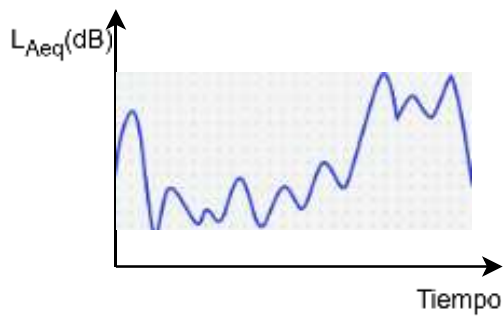


Es común en máquinas que operan continuamente, como ventiladores o equipos de producción continua. Además, este tipo de ruido puede ser estable o variable; el primero se da cuando el  $L_{Aeq}$  es constante en un periodo de tiempo, por tanto, su valor es inferior a 5 dB(A) mientras se mide con el sonómetro. En cambio, el ruido variable fluctúa más de 5 dB en el tiempo, con períodos estables que se pueden desglosar; por ejemplo, en una operación de 8 horas se pueden construir 85, 91 y 93 dB segmentos de 1, 5 y 2 horas; respectivamente (Echeverri, 2024).

- El ruido intermitente se entiende como la presión sonora que presenta ciertas pausas o cambios significativos en la intensidad, tal como se visualiza en la Figura 2.

**Figura 2**

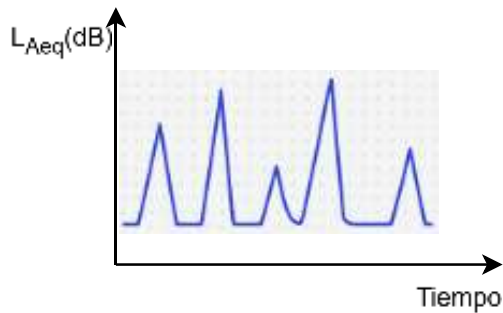
*Ruido intermitente*



- El ruido de impacto o impulsivo (ver Figura 3) es un ruido de ráfaga fuerte generado por la caída o impacto de objetos en metales o golpes de ariete. Se caracteriza por ser de breve duración (menos de la mitad de un segundo) de energía sonora elevada que produce daño inmediato al sistema auditivo.

**Figura 3**

*Ruido de impulso*



#### **2.2.4 Fuentes de ruido en entornos industriales**

En entornos industriales, las fuentes primarias de ruido provienen de los equipos electromecánicos asociados con los procesos de producción, tales como motores eléctricos, bombas centrífugas, compresores y ventiladores. Todos estos dispositivos producen vibraciones mecánicas, turbulencias de aire o flujo y resonancia espacio estructural (Remache et al., 2024).

Las bombas centrífugas (ver Figura 4.a) en particular causan ruidos hidráulicos y mecánicos debido al desgaste entre las paletas, cavitación y desbalance del rotatorio, causando fluctuaciones de la presión del sonido que exceden los 85 dB. Los motores eléctricos (ver Figura 4.b) producen ruidos electromagnéticos y de enfriamiento debido al diseño (Remache et al., 2024).

#### **Figura 4**

*Fuentes generadoras de ruido, a) bomba centrífuga y b) motor eléctrico*



*Nota.* Recuperado de (Mercado Libre, 2025; Pintulac, 2025)

#### **2.2.5 Efectos del ruido**

El ruido industrial presenta uno de los peligros físicos primordiales en los centros de trabajo. La (ISO 9612, 2025) refiere el mantenimiento en presencia de niveles de presión sonora como causante de la pérdida auditiva inducida por ruido, fatiga sonora y otros efectos fisiológicos que afectan la capacidad de comunicación y la atención de los trabajadores. La (Decisión Andina 584, 2018; Resolución 957, 2005) señalan que la exposición al ruido debe ser controlada desde la identificación de las fuentes, la evaluación del riesgo y su reducción mediante medidas técnicas, estableciendo un principio de jerarquía en el cual la prevención sustituye la protección posterior. Además, esta normativa también resalta que el ruido no solo afecta la capacidad auditiva sino también el bienestar psicológico, la productividad y la seguridad en aquellas tareas que requieren concentración. Varias investigaciones detallaron

los efectos que posee el ser humano ante la presencia del ruido en sectores industriales, descritos a continuación:

- Pérdida auditiva

La exposición prolongada al ruido daña las células ciliadas de la cóclea, causando pérdida neurosensorial de audición irreversible (Priya y Hohman, 2025). Según (Su et al., 2025) indicaron que la exposición ocupacional a niveles altos de ruido, mayores a 80 dB(A); ocasionaron altas pérdidas del habla y auditiva. El daño auditivo perjudica la comunicación, la calidad de vida y supone una carga económica ya sea por el uso adicional de audífonos, rehabilitación, entre otros (Kanu et al., 2025).

- Perturbaciones del sueño

La exposición al ruido a cualquier hora del día también puede interferir en el inicio, mantenimiento y profundidad de la conciliación del sueño. Esto puede provocar varios síntomas, tales como somnolencia, fatiga, un peor desempeño laboral y un aumento del estrés fisiológico (Yazdanirad et al., 2023).

- Alteraciones cardiovasculares y metabólicas

El ruido actúa como un estresor que activa respuestas del sistema nervioso simpático a través de la elevación de hormonas del estrés y aumenta la frecuencia cardíaca, presión arterial y la vascularización. Los estudios demuestran que la exposición continua al ruido conlleva un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares, incluido el infarto y las arritmias, lo que genera un alto grado de mortalidad (Chen et al., 2023). Además, al factor se atribuyen efectos metabólicos, como un mayor riesgo de diabetes tipo 2, alteraciones en el metabolismo lipídico y posible aumento de la obesidad por vías de estrés crónico (Dutchen, 2025).

- Salud mental y cognitiva

El ruido causa daño no solo al cuerpo, sino que también altera el equilibrio emocional y afecta la salud mental. De acuerdo con (Carvalhais et al., 2025) el ruido crónico resulta en molestia, estrés psicológico, ansiedad y, en los casos severos, depresión. Además, reduce la capacidad de atención, la memoria de trabajo alterando la función cognitiva, lo que aumenta las posibilidades de los errores y disminuye la efectividad en trabajos que necesitan una atención constante y alta concentración (Mehrotra et al., 2024).

- **Efectos sistémicos no auditivos en el ser humano**

El ruido puede afectar no solo el sistema auditivo, sino también algunos órganos, como el hígado y los riñones, el tracto gastrointestinal, mediante el estrés oxidativo y la inflamación crónica (Yang et al., 2024).

### **2.2.6 Medidas preventivas**

La exposición prolongada al ruido industrial es un grave peligro para la audición y también para la salud del sistema cardiovascular y psicológicos de los empleados. Por lo tanto, se considera vital desarrollar una serie de estrategias de prevención que satisfagan completamente el origen y las medidas de protección personal, descritas a continuación (Occupational Safety and Health Administration [OSHA], 2022):

- **Controles de ingeniería**

El control del ruido de las bombas y motores industriales sigue siendo una de las prioridades en el trabajo, ya que estas instalaciones suelen ser la causa de los tiempos de exposición a niveles de sonido dañinos. Se considera que las acciones en la vía de la ingeniería en la fuente son la mejor manera de contrarrestar el impacto del ruido, especialmente si se realizan sobre la base del análisis de la acústica que incluye la definición precisa de las fuentes dominantes y sus diferentes métodos de emisión de ruido:

- Alteración de la fuente sonora

Normalmente, el ruido se obtiene por vibraciones mecánicas, impactos, flujos de fluido o radiación desde superficies vibrantes. Para mitigar los impactos mecánicos, se requiere disminuir la energía de los elementos en movimiento, balancear dinámicamente las piezas rotativas y mantener la máquina condiciones óptimas de operación. Igualmente, se debe minimizar la separación entre las partes involucradas en choques y patrones suavizados con vibraciones relevantes. Estas medidas contribuyen a reducir significativamente el sonido al ser golpeados o frotados.

- Control del flujo de fluidos

Otro ruido causado por las bombas industriales se debe al propio fluido que fluye a alta velocidad, especialmente a través de válvulas o de áreas con mucho cambio en la dirección del flujo. Para amortiguar este sonido, las válvulas deben colocarse en tramos rectos, los cambios de dirección deben evitarse o ser mínimos y la velocidad del fluido debe limitarse a menos de 30 pies/s (equivalente a 32,92 km/h). En condiciones en las que la energía vibratoria se transfiere a las paredes de las tuberías, deben aplicarse conectores flexibles y vibraciones aislantes. Si estas advertencias no calman suficientemente el ruido, puede ser prudente instalar un silenciador en la línea para amortiguar el ruido transmitido por el flujo.

- Ruido radiado por superficie o panel

Las máquinas presentan superficies metálicas y estas se pueden comportar como un radiador de sonido. Es valioso subsanar el problema subdividiendo los paneles de superficie grandes, reforzándolos estructuralmente, utilizando metales expandidos en lugar de láminas sólidas y usando materiales de reducción de vibración. Esta última medida puede reducir el nivel de sonido hasta en 30 dB, dependiendo de la cobertura aplicada y la forma de amortiguación utilizada de capa abierta o restringida.

- Aislamiento de vibraciones

El aislamiento antivibratorio es imprescindible en motores y bombas, ya que, con el uso de estos, las fuerzas armónicas que generan se transmiten al suelo o a las estructuras vecinas, amplificando el ruido del entorno. Para desacoplar la fuente de vibración de la receptora se pueden usar soportes elastoméricos, resortes metálicos o almohadillas especiales. En todos los casos, hay que seguir el consejo de especialistas para elegir adecuadamente qué implementar, ya que su mala praxis puede empeorar la situación.

- Reemplazo de componentes/equipos

Una solución efectiva puede cambiar los motores o bombas por versiones más silenciosas. Por ejemplo, los motores con ventiladores aerodinámicos unidireccionales crean menos ruido que los omnidireccionales convencionales. Alternativamente, se pueden instalar componentes con tolerancias de vibración más bajas o materiales fonoabsorbentes.

- Reubicación de equipos

Trasladar las bombas a áreas que no estén ocupadas la mayoría del tiempo, o lejos del personal. Esto puede hacerse mediante extensiones de tubería, alojamiento en techos industriales o gabinetes aislados.

- Tratamiento de la vía de transmisión sonora

En caso de que la fuente de ruido no pueda ser modificada o reemplazada, se puede minimizar la exposición simplemente tratando la trayectoria del sonido. En tal caso barreras acústicas de alta reflectividad, materiales absorbentes otros cercos o recintos alrededor de la maquinaria. Estas barreras pueden reducir la reflexión del sonido que raramente evitará que el sonido se propague hacia áreas ocupadas, y pueden permitir que los ingenieros atenúen los niveles de sonido ambiental. Cerca de las estaciones de trabajo, un cerramiento parcial o total puede reducir entre 15 y 20 dB, dependiendo del diseño y de los materiales utilizados.

- Protección del receptor

Si no es posible disminuir el ruido en la fuente o en el camino a un nivel suficientemente bajo, entonces los trabajadores se pueden aislar directamente con cabinas aisladas acústicamente o mover a trabajos más silenciosos. Con controles bien diseñados de salas, es posible mantenerlos en niveles inferiores a 80 dB(A), lo que resulta en un impacto muy significativo en la exposición diaria. Los mapas acústicos de la planta también permiten que los trabajadores se muevan a regiones con menos carga de sonido sin perder productividad.

- **Controles administrativos**

Las estrategias de control administrativo involucran modificaciones en horarios, operaciones o ubicación de las tareas para reducir la exposición de los trabajadores al ruido. Pueden ser desde poner máquinas ruidosas a trabajar en horarios sin tanta gente, mover a los trabajadores de área cuando alcancen su dosis diaria permitida. Otros controles efectivos son los siguientes: rediseño de los horarios de trabajo para minimizar el tiempo expuestos en zonas ruidosas y asignación de zonas silenciosas como comedores y salas de descanso sin ruido y que tengan tratamiento acústico. También está el incremento de la distancia entre trabajadores y fuentes de ruido mediante herramientas de supervisión en línea o remota como brazos robóticos y establecer políticas de mantenimiento preventivo continuo para evitar que desperfectos técnicos eleven los niveles de ruido y entrenamiento del personal para usar sonómetros y detectar las zonas críticas.

- **Protección personal auditiva**

Los protectores auditivos son la última protección contra la exposición al ruido cuando los controles de ingeniería y administrativos no son factibles y suficientes. Su efectividad depende del ajuste y el trabajador que los use constante y correctamente. El uso es requerido si la exposición excede 85 dB(A). Generalmente, se utiliza tapones para los oídos en diferentes formas y materiales tal como se muestra en la Figura 5.

## **Figura 5**

### *Tapones para los oídos*



*Nota.* Recuperado de (OSHA, 2025)

También se pueden utilizar orejeras (ver imagen izquierda de la Figura 6), los cuales están dirigidos a cubrir el oído externo y reducir el sonido que ingresa al oído interno. Se utilizan en talla única, se pueden insertar y retirar fácilmente y funcionan bien si están bien sellados. A pesar de esto, tienen una vida útil limitada y no se pueden reutilizar debido a la higiene limitada. Sin embargo, son los mejores para uso intermitente y preferidos en temperaturas frías debido al factor de temperatura. Otra protección es la banda auditiva (ver imagen derecha de la Figura 6), la cual es similar a los tapones salvo que tienen una banda rígida que conecta las partes insertadas en los oídos. Aunque son fáciles de usar y presentan comodidad, ofrece una menor atenuación sonora que los tapones.

## **Figura 6**

### *Orejeras y bandas auditivas*



*Nota.* Recuperado de (OSHA, 2025)

### 2.2.7 Sonómetro y calibrador

Es un instrumento (ver Figura 7) esencial para la medición del  $L_{Aeq}$  [dB], el cual consiste de un aparato electroacústico que convierte las ondas sonoras percibidas por un micrófono en señales eléctricas que son amplificadas, atenuadas y filtradas, con el fin de proceder al análisis de las mismas. El rango de medición abarca generalmente de 0 a 20 kHz, de manera que se incluye la totalidad de las frecuencias audibles para el hombre (Díaz, 2025).

**Figura 7**

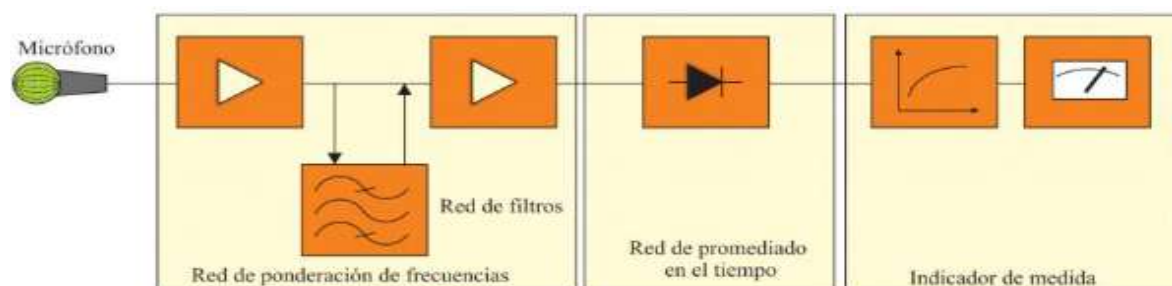
*Sonómetro Cirrus*



En esencia se compone de un micrófono, unidad de procesamiento conformada por redes de ponderación de frecuencia y promediado en el tiempo y la unidad de presentación numérica en una pantalla, tal como se muestra en la Figura 8 (Millán Esteller, 2022).

**Figura 8**

*Esquema de funcionamiento del sonómetro*



*Nota.* Recuperado de (Millán Esteller, 2022)

Hay dos tipos de sonómetros, los de uso general, que miden el nivel instantáneo de presión sonora y se emplean siempre que el ruido sea estable. El segundo se denomina como tipo integrador, el cual consiste en promediar el nivel en cualquier condición para obtener el valor equivalente que tiene. A su vez estos instrumentos se clasifican en Clase 1, de alta exactitud para laboratorio, y Clase 2, de propósito general para mediciones de campo (Millán Esteller, 2022). Por último, el sonómetro es un instrumento recomendado por varias normativas como la ISO 9612 y las NTP 270, 950 y 951, ya que garantiza mediciones con precisión y comparabilidad. Cabe destacar que existen distintos tipos de sonómetros según su funcionalidad primitiva y tiempo de respuesta, indicados en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Designaciones del sonómetro*

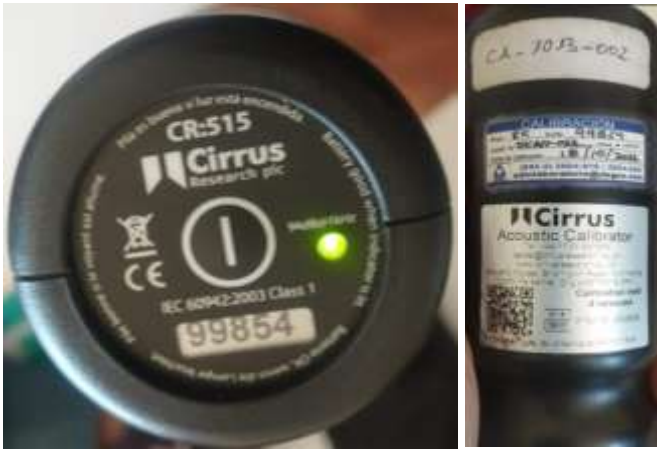
<b>Designación</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor medido</b>	<b>Constante de tiempo (ms)</b>
Lento ( <i>slow</i> )	S	Eficaz	1000
Rápido ( <i>fast</i> )	F	Eficaz	125
Impulso ( <i>impulse</i> )	I	Eficaz	35
Pico ( <i>peak</i> )	P	Pico	< 0,1

*Nota.* Recuperado de (Díaz, 2025)

El calibrador sonoro (ver Figura 9) es un generador de señales acústicas estables de frecuencia conocida que se utiliza para la verificación y ajuste del sonómetro con este y su micrófono antes y después de la medición a fin de avalar la precisión de sus resultados (Millán Esteller, 2022).

## Figura 9

*Calibrador sonoro Cirrus CR:515 Clase 1*



### 2.2.8 Normativas y estándares

La evaluación de la exposición al ruido ambiental en los lugares de trabajo debe regirse por los estándares internacionales y nacionales que regulan los procedimientos para el muestreo, análisis e interpretan los resultados, descritos a continuación:

La norma (ISO 9612, 2014) es un estándar internacional reconocido que comprende algoritmos para la determinación de la exposición ocupacional al ruido mediante la ingeniería inversa, el documento orienta el muestreo basado en tareas apropiadas, cómo calcular la exposición diaria al ruido y cómo abordar la incertidumbre de un medidor. El documento internacional también se complementa con la norma (ISO 1996-2, 2017) que rige la evaluación y cuantificación del ruido ambiental que afecta a muchas personas, lo que facilita la armonización entre la determinación del ruido industrial y la percepción social.

En el contexto español y latinoamericano, las Notas Técnicas de Prevención NTP 270, NTP 950 y NTP 951 del INSST ofrecen información metodológica sobre la evaluación de niveles equivalentes, grupos de exposición homogénea y niveles de incertidumbre asociados (García y Luna, 2012a, p. 950, 2012b, p. 951; INSST, 1992, p. 270).

Finalmente, el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN miembro de la ISO, fundamenta la Normativa Técnica Ecuatoriana (NTE) y define procedimientos para

determinar la exposición al ruido en el sector laboral, el cual se acoge a la ISO 9612 (NTE INEN-ISO 9612, 2014).

### **2.3 Marco legal**

En Ecuador, la protección de la salud del trabajador, determinada por los niveles dañinos de presión sonora a los que puede estar expuesto en el lugar de trabajo, así como su control y evaluación, se rige por un conjunto de normas legales y técnicas.

El (Decreto Ejecutivo 255, 2024) establece el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo, derogando las disposiciones estipuladas por el Decreto 2393. Dicho reglamento asigna a los empleadores la responsabilidad de ofrecer condiciones seguras ante los factores de riesgo físico que incluyen al ruido ocupacional. La (Decisión Andina 584, 2018; Resolución 957, 2005) refuerzan aún más estos principios al exigir a los Estados miembros que incorporen la evaluación de ruido como parte de los sistemas de gestión en seguridad y salud debido al riesgo físico. El Acuerdo Ministerial del Ministerio del Trabajo MDT-2024-196 actualiza las condiciones técnicas de seguridad de los lugares de trabajo e indica que las mediciones de agentes físicos deben realizarse utilizando metodologías técnicas reconocidas (MDT, 2024).

Los métodos de muestreo, la calibración de instrumentos, las condiciones de medición y la dosis diarias de ruido a la que se expone en el trabajo requieren de los procedimientos estandarizados bajo la norma INEN-ISO 9612:2014. Esta norma técnica estandariza la selección de mediciones de exposición al sonido a través de la cantidad de nivel de exposición diaria normalizada a 8 horas ( $L_{EX,8h}$ ), que se expresan en dB(A). En base a la Tabla 2 se puede seleccionar la estrategia de medición adecuada, tales como la tarea, función y de jornada laboral (NTE INEN-ISO 9612, 2014).

**Tabla 2***Estrategias de medición*

Puesto	Trabajos Tarea	Pauta	Estrategias de medición basada en:		
			1. Tarea	2. Función	3. Jornada completa
Fijo	Simple		☑*	-	-
	Compleja		☑*	☑	☑
Móvil	Pocas	Previsible	☑*	☑	☑
	Compleja	Previsible	☑	☑	☑*
		Imprevisible	-	☑	☑*
Fijo o móvil	Múltiples		-	☑*	☑
	Sin tareas		-	☑*	☑

*Nota.* ☑ representa la estrategia que se puede utilizar y “\*” es la estrategia recomendada.

Recuperado de (NTE INEN-ISO 9612, 2014)

En lo que respecta a la instrumentación, el sonómetro para las mediciones debe seguir la IEC 61672-1 y las exigencias acerca de la precisión según INEN-ISO 9612, siendo un instrumento Tipo 1 o 2 de acuerdo con la precisión necesaria. El micrófono se debe colocar a una distancia entre 10 a 40 cm del canal de entrada auditivo del oído más expuesto. En caso de que el puesto de trabajo es indefinido, se acoge una altura del micrófono con respecto al suelo de  $80 \pm 5$  cm y  $155 \pm 7,5$  cm si el trabajador está sentado y de pie; respectivamente. Además, se debe asegurar la calibración acústica antes y después de cada sesión de medición (NTE INEN-ISO 9612, 2014).

La Norma (ISO 1996-2, 2017) fija los métodos de descripción, medición y evaluación auditiva del ruido ambiental, en la cual se recomienda el uso de la ponderación “A” para reflejar mejor la sensibilidad humana a través del oído, y establece factores de corrección, que contribuyen por tono, pulsaciones y variables temporales.

## 2.4 Glosario de términos

### 2.4.1 Aislamiento acústico

Es la capacidad de una estructura para evitar que el sonido se traslade de un punto a otro. De la reducción en energía obtenida donde las ondas de sonido tocan un material, en

su mayor parte debido a la reflexión de sonido, incluso cuando no hay absorción acústica (Echeverri, 2024).

#### **2.4.2 Bomba centrífuga**

Es una máquina hidráulica que convierte la energía mecánica suministrada por un motor en energía cinética y de presión para transportar líquidos. Por consiguiente, tiene la capacidad de bombear o transferir fluidos, se utiliza principalmente para bombear agua o líquidos y opera generando fuerza centrífuga mediante un impulsor giratorio (Hopp, 2022).

#### **2.4.3 Decibel dB**

El decibel se define como la relación logarítmica entre dos magnitudes de potencia o presión sonora. Además, puede poseer una variante en forma de filtros de ponderación frecuencial (A, C y Z), usados para medir el ruido en función de la sensibilidad del oído humano (Echeverri, 2024).

#### **2.4.4 Filtro de ponderación A**

Este tipo de filtro simula cómo el oído humano empata el sonido. Reduce frecuencias bajas y aumenta las frecuencias medias, además de disminuir las frecuencias altas hasta aproximarse a la sensibilidad auditiva a un nivel de dB (Echeverri, 2024).

#### **2.4.5 Función del trabajador**

Esta se define por la actividad profesional global realizada por un trabajador, e incluye todas las tareas realizadas durante una jornada laboral completa normal / turno de trabajo (NTE INEN-ISO 9612, 2014).

#### **2.4.6 Motor eléctrico**

El motor eléctrico es un dispositivo que realiza la conversión de la energía eléctrica a mecánica por la interacción de campos magnéticos y se utiliza para mover o accionar máquinas; por ejemplo, bombas, ventiladores, compresores o cintas transportadoras en procesos industriales, domésticos y automotrices (Hopp, 2022).

#### ***2.4.7 Tiempo de reverberación***

El tiempo de reverberación, RT, es el tiempo que necesita el sonido para disminuir 60 dB después de que la fuente se desconecta. Es una característica de la persistencia de un sonido en un espacio y depende de su tamaño, forma y materiales de construcción (Millán Esteller, 2022).

## **CAPÍTULO III.**

### **3. Metodología**

#### **3.1 Tipo de investigación**

El presente estudio fue de carácter aplicado, en la medida que busca resolver un problema real detectado en un ambiente industrial específico sobre la Planta Purificadora de Agua REFEGRA S.A. mediante la valoración y disminución de los niveles de ruido. Es decir, la investigación aplicada se caracterizó por la combinación de la experiencia teórica y práctica, ya que implicó no solo el análisis de los fenómenos acústicos, sino también la creación e implementación de un sistema de atenuación del sonido basado en los requisitos y regulaciones técnicos. Como resultado, se esperó una resolución efectiva y medible, que tenga un impacto directo sobre la calidad del ambiente laboral y la adhesión a los límites reglamentarios establecidos en la legislación ecuatoriana pertinente.

#### **3.2 Diseño de investigación**

Específicamente, el diseño adoptado fue de tipo experimental, ya que, presupone la manipulación controlada de las variables para analizar su efecto en la reducción de ruido. La tarea en esta fase fue la implementación de un prototipo de insonorización con diferentes materiales, en sí se utilizaron cuatro: 1) melamina, 2) gypsum (yeso), 3) inclusiones del PVC con espuma flexible cerrada y 4) láminas de corcho. Estos fueron comparados en función de la atenuación acústica dada en decibelios dB(A) antes y después de la intervención. Por tanto, la aproximación experimental minimizó la exposición sonora de los trabajadores.

#### **3.3 Técnicas de recolección de datos**

La recolección de datos se llevó a cabo a través de la técnica de medición directa con un sonómetro integrador tipo 1 calibrado según la IEC 61672-1. El método de muestreo fue con micrófono de acuerdo a la INEN-ISO 9612, ubicado en intervalos de 10 a 40 cm de lado variable a la altura del oído del trabajador y el mismo orientado hacia la fuente de ruido. Se

realizó una evaluación técnica de materiales acústicos para determinar cuál será el más conveniente de acuerdo a la absorción y resistencia ambiental a cambios de temperatura. Toda esta información fue efectiva para la comparación pre/post insonorización.

### **3.4 Población de estudio y tamaño de muestra**

La población del estudio estuvo constituida por todas las máquinas y equipos electromecánicos en el área de producción de la Planta Purificadora de Agua REFEGRA S.A., es decir, 4 bombas y 1 motor, los cuales causaron emisiones sonoras significativas. En este caso, el tamaño de la muestra es igual a la población.

### **3.5 Hipótesis**

La aplicación de distintos materiales en un sistema de insonorización mitiga significativamente los niveles de ruido en el área de producción cumpliendo con los límites establecidos por la normativa vigente.

### **3.6 Operacionalización de las variables**

La operacionalización (ver Tabla 3) presenta 2 variables básicas tales como los materiales de insonorización (VI, variable independiente) y los niveles de ruido (VD, variable dependiente), donde la definición conceptual de la función de cada una de las variables y su forma concreta a ser evaluadas en el estudio. Cada variable implica dimensiones técnicas, lo que determina los indicadores sobre la fuerza en dB(A) y el porcentaje de reducción en la variable.

**Tabla 3***Operacionalización de las variables*

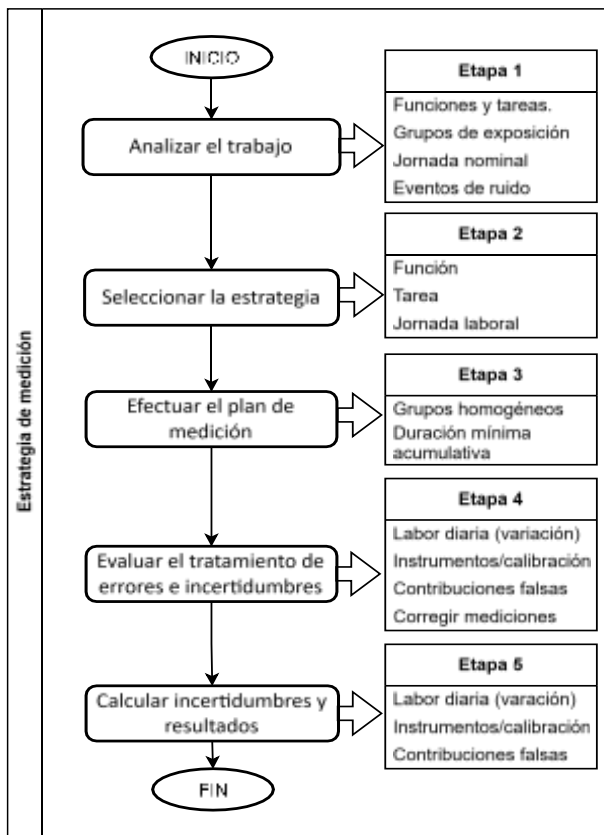
<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
Materiales de insonorización (VI)	Elementos diseñados para reducir los niveles de ruido mediante absorción o bloqueo.	Tipo de materiales	Factibilidad de instalación. Durabilidad.	Reducción de los niveles de ruido. Resistencia del material a entornos húmedos.	Mediciones mediante el sonómetro. Tipo de material (dB). Porcentaje.
Niveles de ruido (VD)	Intensidad sonora en el área de producción	Mediciones con sonómetro	Intensidad sonora	Decibeles ponderados. Porcentaje antes/después de la implementación	dB(A) Porcentaje (%)

**3.7 Metodología aplicada en base a la INEN-ISO 9612**

En la Figura 10 se muestra un procedimiento esencial que en base a ciertas estrategias se validan las mediciones e incertidumbres en la planta. El método posee los siguientes pasos clave: análisis del trabajo, identificación de una estrategia de medición (función, tarea, jornada laboral), mediciones, gestión de errores e incertidumbre y cálculos de incertidumbre con visualización del resultado. Estos elementos están interrelacionados, lo que significa que el proceso en situaciones complejas puede ser cíclico.

**Figura 10**

*Estrategia de medición bajo la normativa INEN-ISO 9612*



### **3.7.1 Etapa 1 – Análisis del trabajo**

En el área de producción de la Planta Purificadora de Agua REFEGRA S.A se encuentran bombas centrífugas y un motor, junto a los procesos de ósmosis y desinfección. El análisis de trabajo consiste en identificar el nivel de ruido, con el cual se exponen los trabajadores diariamente en la planta.

### **3.7.2 Etapa 2 – Estrategia de medición**

El tipo de trabajo se asocia con trabajadores sin tareas definidas o repetitivas en la planta, ya que sus actividades pueden cambiar de forma continua, dependiendo de las necesidades operativas del proceso de producción. Dado que el ruido no puede asignarse a tareas específicas, en este contexto se selecciona una estrategia basada en la función y no en la tarea; tal como se ilustra en la Tabla 2 (ver Apartado 2.3). Tampoco se considera una

estrategia basada en la jornada completa, ya que las mediciones se las lleva a cabo en un lapso de 5 horas (ver Tabla 6 del Apartado 4.1.2), el cual es inferior a las 8 horas laborales.

El concepto básico de la estrategia de medición basada en la función cuantifica la exposición al ruido utilizando muestras representativas del nivel de sonido a lo largo del desarrollo general de las funciones que el trabajador necesita realizar, sin subdividir cada tarea. Este método es aplicable en situaciones en las que las actividades varían o implican el desempeño de un puesto de trabajo y proporciona una exposición al ruido diario.

### 3.7.3 Etapa 3 – Plan de medición

A partir de la estrategia de medición identificada, se define los GEH. Para cada grupo se efectúa el método de ponderación presentado en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Duración mínima total de medición a un GEH*

Cantidad de trabajadores en el GEH ( $n_G$ )	Duración mínima acumulativa (horas h) de medición a repartir entre el GEH
$n_G \leq 5$	5
$5 < n_G \leq 15$	$5 + 0,5(n_G - 5)$
$15 < n_G \leq 40$	$10 + 0,25(n_G - 15)$
$n_G > 40$	17 o fraccionar el grupo

*Nota.* Recuperado de (NTE INEN-ISO 9612, 2014)

### 3.7.4 Etapa 4 – Tratamiento de errores e incertidumbre

A continuación, se describe ciertas incertidumbres que pueden afectar el resultado en una medición (NTE INEN-ISO 9612, 2014):

- Las condiciones de operación, el trabajo diario, entre otros.
- La ubicación del micrófono y calibración del sonómetro.
- Contribuciones espurias, como el viento y las corrientes de aire, el micrófono rozando la ropa o este teniendo un impacto en algo sólido.
- Una evaluación del trabajo realizado, pero de manera deficiente o no realizado en absoluto.

- Condiciones no habituales como la música (radio), señales de alarma, entre otros.

### 3.7.5 Etapa 5 – Evaluación de la incertidumbre y resultados

Para esta etapa, se procede con los siguientes cálculos de medición (NTE INEN-ISO 9612, 2014):

- $L_{EX,8h}$  bajo la expresión de la Ecuación 3.
- Incertidumbres, típica combinada  $u$  y expandida  $U$ ; mediante la Ecuación 4, donde  $c_i u_i$  representa los valores numéricos de todas las contribuciones a la incertidumbre. Al aplicar una probabilidad de cobertura unilateral del 95%, se obtiene un factor de 1,65, el cual se le multiplica a  $u$  para obtener  $U$ .

$$\begin{cases} u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2) \\ U = 1,65u \end{cases} \quad (4)$$

- El cálculo de  $u_1$  se realiza a través de la Ecuación 5, donde  $\bar{L}_{Aeq}$  es el promedio de  $N$  muestras en función de  $L_{Aeq}$ .

$$\begin{cases} u_1 = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[ \sum_{n=1}^N (L_{Aeq} - \bar{L}_{Aeq})^2 \right]} \\ \bar{L}_{Aeq} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N L_{Aeq} \end{cases} \quad (5)$$

- La contribución  $c_1 u_1$  se calcula a través de la Tabla 5.
- Los coeficientes de sensibilidad  $c_2$  y  $c_3$  son iguales a la unidad.
- Al emplear el sonómetro de clase 1, se tiene un  $u_2 = 0,7$  dB.
- $u_3 = 1$  dB (valor típico debido a la posición de medición).

**Tabla 5***Contribución a la primera incertidumbre  $c_1u_1$* 

$N \setminus u_1$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
3	0,6	1,6	3,1	<b>5,2</b>	<b>8,0</b>	<b>11,5</b>	<b>15,7</b>	<b>20,6</b>	<b>26,1</b>	<b>32,2</b>	<b>39,0</b>	<b>46,5</b>
4	0,4	0,9	1,6	2,5	<b>3,6</b>	<b>5,0</b>	<b>6,7</b>	<b>8,6</b>	<b>10,9</b>	<b>13,4</b>	<b>16,1</b>	<b>19,2</b>
5	0,3	0,7	1,2	1,8	2,4	<b>3,3</b>	<b>4,4</b>	<b>5,6</b>	<b>6,9</b>	<b>8,5</b>	<b>10,2</b>	<b>12,1</b>
6	0,3	0,6	0,9	1,4	1,9	2,6	<b>3,3</b>	<b>4,2</b>	<b>5,2</b>	<b>6,3</b>	<b>7,6</b>	<b>8,9</b>
7	0,2	0,5	0,8	1,2	1,6	2,2	2,8	<b>3,5</b>	<b>4,3</b>	<b>5,1</b>	<b>6,1</b>	<b>7,2</b>
8	0,2	0,5	0,7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	<b>3,6</b>	<b>4,4</b>	<b>5,2</b>	<b>6,1</b>
9	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7	2,1	2,6	3,2	<b>3,9</b>	<b>4,6</b>	<b>5,4</b>
10	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,4	2,9	3,5	<b>4,1</b>	<b>4,8</b>
20	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6
25	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3
30	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0

*Nota.* La contribución  $c_1u_1$  colocado en negrilla representa un alto valor, por lo que se recomienda el cambio del plan de medición. Adaptado de (NTE INEN-ISO 9612, 2014)

### 3.8 Procesamiento de datos

Para cada GEH se determinó el promedio de los valores de  $L_{Aeq}$  y este valor se comparó con el límite permitido de los 85 dB(A). En el proyecto también se agregó un procedimiento de encapsulado acústico de las fuentes registradas, para establecer la disminución del nivel de presión sonora. Se construyeron cajas de encapsulado de acuerdo a 4 materiales, tales como PVC con espuma flexible de celda cerrada, melamina, gypsum y PVC con corcho. Estos materiales se seleccionaron porque resisten bien la humedad, se pueden instalar fácilmente y tienen una idoneidad aceptable para entornos industriales (Esan, 2024; Sergi et al., 2019; SINOYQX, 2023). Además, permiten combinar el aislamiento y la absorción de sonido para ayudar a lograr un control eficiente del ruido dentro de recintos. Por el lado opuesto, se descartan sustancias como la lana de vidrio porque tienen una resistencia nula al contenido de humedad según lo mencionado por Raja et al. (2025), el cual siempre estará presente en la planta purificadora de agua.

Cada material se analizó a través de la medición  $L_{Aeq}$  pos encapsulado, para ser evaluado tal cual se definió en la normativa antes mencionada y luego efectuar la

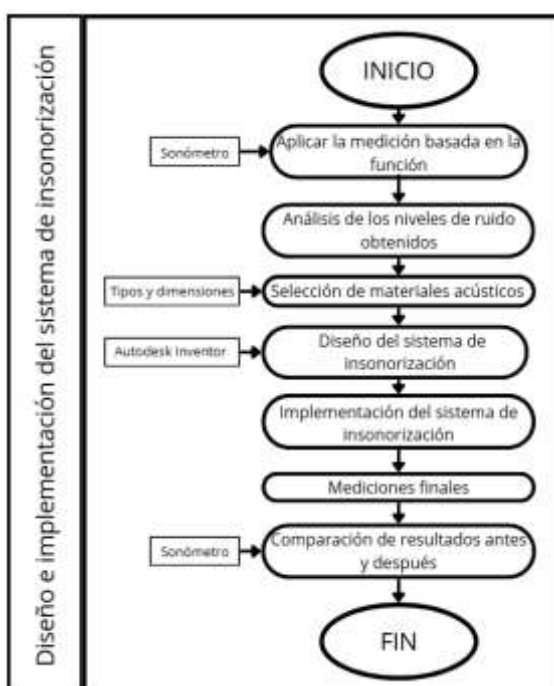
comparación cuantitativa, a fin de determinar cuál fue el mejor material de uso para reducir un nivel de ruido producido por las bombas centrífugas. Estos datos se almacenaron en bases de datos Excel y se procesaron los parámetros, de tal forma se construyen tablas comparativas antes/después de la implementación de insonorización, a fin de determinar si es factible o no el sistema propuesto.

### 3.9 Proceso del sistema de insonorización

A través de la Figura 11 se muestra el diseño e implementación práctica del sistema de insonorización, considerando los equipos y software empleados. No obstante, lo que respecta a las mediciones, se basaron acorde a lo indicado en el Apartado 3.7. El sistema de insonorización es diseñado mediante Autodesk Inventor con el análisis de los tipos y dimensiones de los materiales aislantes (PVC con espuma flexible de celda cerrada, melamina, gypsum y PVC con corcho). Por último, se implementa el sistema y se realiza la medición final para comparar la disminución del ruido con el valor previo y evaluar la efectividad del sistema de insonorización propuesto.

**Figura 11**

*Proceso de diseño e implementación del sistema de insonorización*



## CAPÍTULO IV.

### 4. Resultados y discusión

#### 4.1 Identificación de las máquinas y medición inicial de los niveles de ruido

##### 4.1.1 *Percepción de los trabajadores ante el ruido en la planta*

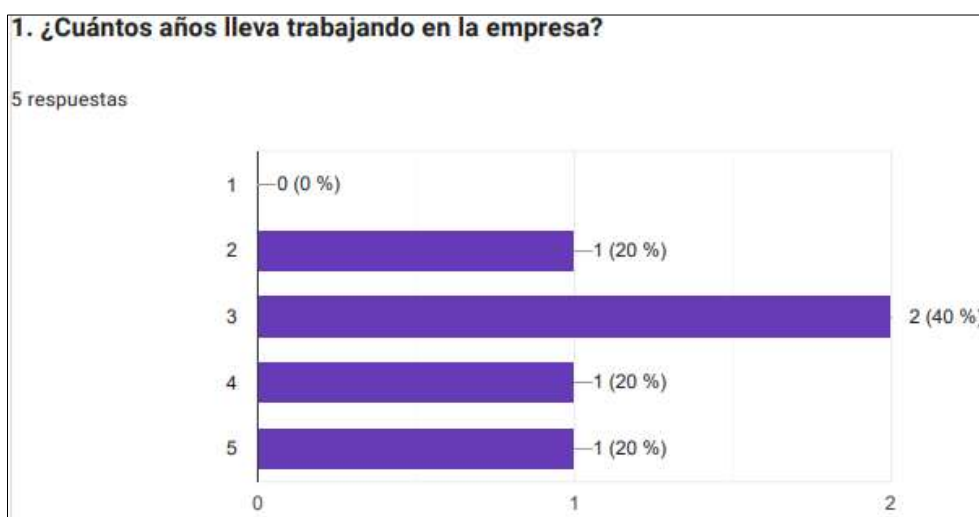
Se ha llevado a cabo la elaboración de un cuestionario de confort acústico a los 5 trabajadores de la planta REFEGRA S.A., el cual se compone por 13 preguntas designadas para analizar la percepción frente el ruido presente en su trabajo. El cuestionario conlleva ciertos aspectos relacionados a la exposición al ruido, las fuentes de sonido que contribuyen y cómo esto afecta las dificultades en la comunicación, así como la concentración y un determinado grupo de reacciones físicas o psicológicas que se experimentan durante las horas laborales.

#### **Interpretación de los resultados del cuestionario:**

##### **Pregunta 1:**

#### **Figura 12**

*Respuesta a la pregunta 1*

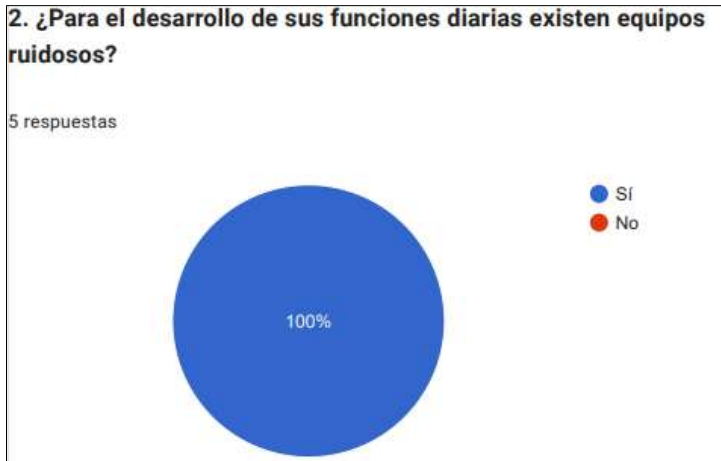


Como se ilustra en la Figura 12, los empleados han trabajado de 2 a 5 años, siendo una fracción del 60% (3 trabajadores), mientras que el 40% (2 trabajadores) poseyeron una ambigüedad de 3 años.

**Pregunta 2:**

**Figura 13**

*Respuesta a la pregunta 2*



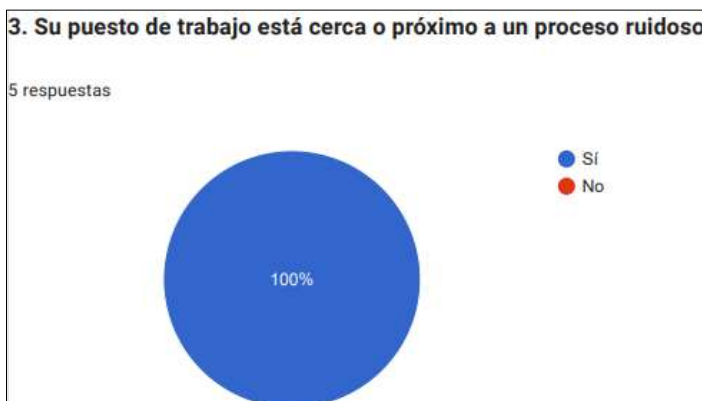
La duración del tiempo de exposición puede afectar la forma en que los trabajadores interpretan el ruido en sus tareas diarias. Por ello, en base a las respuestas de la pregunta 2 se tiene como el 100% (ver Figura 13) de los empleados trabajan con equipos ruidosos.

En este caso, los equipos ruidosos en el área de producción de la planta purificadora de agua son las bombas y el motor eléctrico se erigen como los equipos electromecánicos que desarrollan en mayor medida niveles de presión sonora.

**Pregunta 3:**

**Figura 14**

*Respuesta a la pregunta 3*

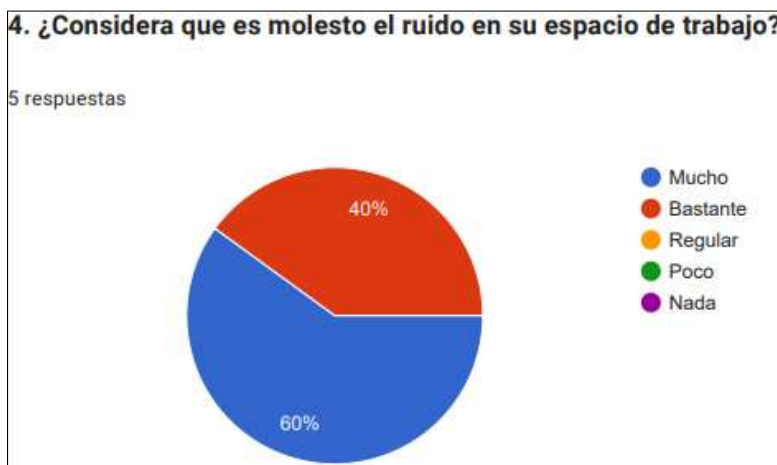


Continuando con el cuestionario, se demuestra que los 5 empleados están cerca de los procesos ruidosos, tal como se observa en la Figura 14. Esto verifica que las áreas operativas colindan estrechamente con fuentes de ruido industrial. En consecuencia, la exposición acústica se convierte en algo habitual y con mayor intensidad en el trabajo diario.

**Pregunta 4:**

**Figura 15**

*Respuesta a la pregunta 4*

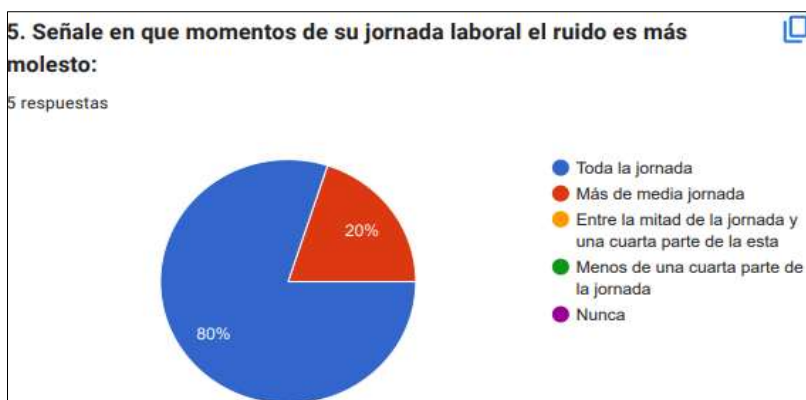


Debido a la proximidad a los procesos ruidosos, la Figura 15 ilustra que los empleados también perciben “Bastante” en un 60% y en “Exceso” (40%) el ruido dentro de la planta. Esto indica una percepción desagradable hacia el entorno acústico en el trabajo.

**Pregunta 5:**

**Figura 16**

*Respuesta a la pregunta 5*

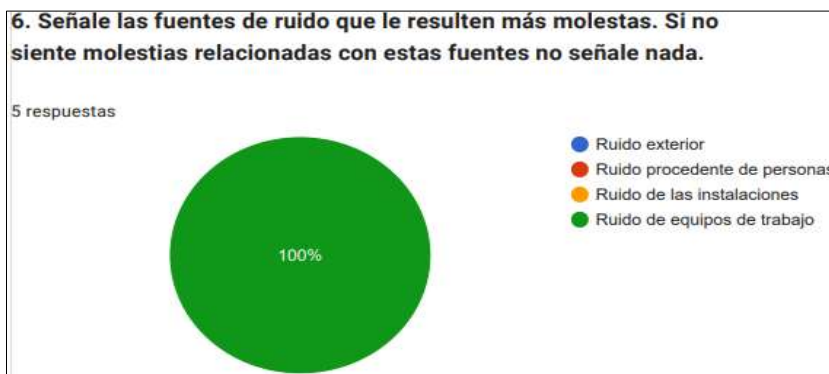


En línea con lo anterior, la Figura 16 muestra que el ruido resulta molesto durante la mayor parte de la jornada diaria. La mayoría de trabajadores que representa el 80% (4 personas) indicó que esta molestia ocurre durante toda la jornada laboral. Lo cual demuestra que la exposición al sonido tiene un impacto continuo en la eficiencia del empleado.

**Pregunta 6:**

**Figura 17**

*Respuesta a la pregunta 6*



Como resultado de dicha exposición, tal como se muestra en la Figura 17, las fuentes de molestia más reportadas corresponden 100% a los equipos de trabajo, en específico a las bombas centrífugas. Esto prueba que el problema acústico está directamente relacionado a al funcionamiento operativo de la empresa.

**Pregunta 7:**

**Figura 18**

*Respuesta a la pregunta 7*

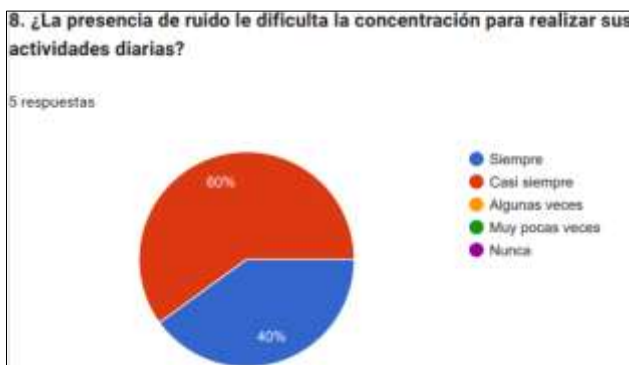


La Figura 18 indica que el ruido es uno de los principales factores de distracción según lo indicado por los empleados. Este escenario ocurre en un 80% (casi siempre 40%, siempre 40%), mientras que solo el 20% que representa a un trabajador manifiesta que solo algunas veces el ruido es motivo de distracción.

### Pregunta 8:

**Figura 19**

*Respuesta a la pregunta 8*

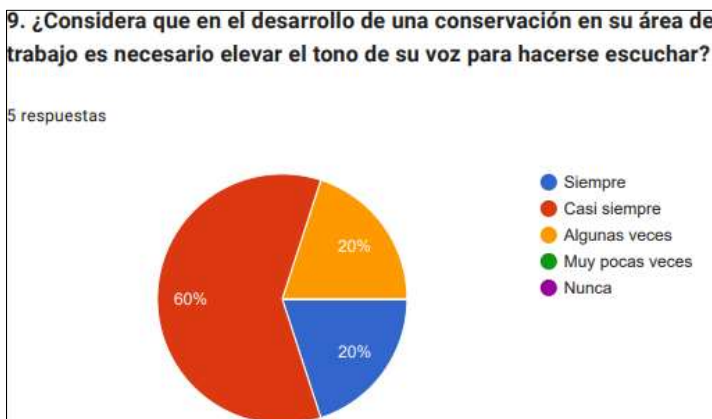


Asimismo, como se muestra en la Figura 19, el ruido también causa dificultades a los trabajadores para concentrarse. La gran mayoría indicó que esto ocurre casi siempre (60%) o siempre (40%) en sus actividades diarias. Esto tiene un impacto negativo en la calidad del trabajo en términos del entorno acústico.

### Pregunta 9:

**Figura 20**

*Respuesta a la pregunta 9*



Además de afectar la concentración, la Figura 20 indica que, en su lugar de trabajo, los trabajadores tienen que levantar la voz para comunicarse, casi siempre lo cual es el 60% de las veces, mientras que el otro 40% manifestó que tiene que elevar el tono de su voz siempre o algunas veces. Por tanto, el ruido se muestra como interferencias distractoras en la comunicación diaria.

### Pregunta 10:

**Figura 21**

*Respuesta a la pregunta 10*

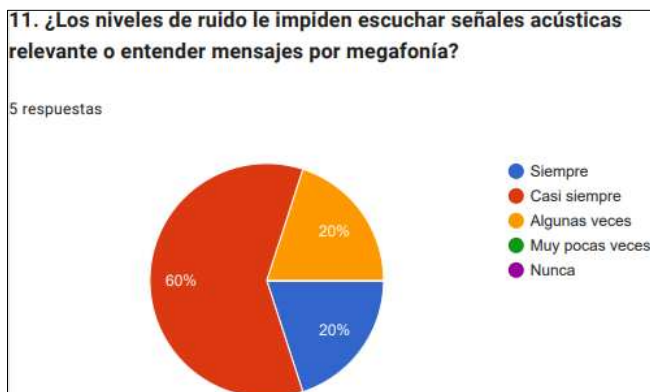


Para los problemas comunicativos, la Figura 21 muestra que comprender las conversaciones en condiciones de trabajo típicas también es problemático; en un 60% se indicó que esto ocurre casi siempre.

### Pregunta 11:

**Figura 22**

*Respuesta a la pregunta 11*

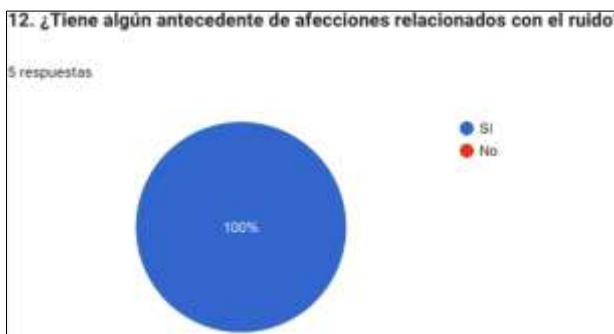


De manera similar, la Figura 22 indica que el ruido puede ocultar señales acústicas o mensajes importantes; donde la mayoría de los encuestados respondió “casi siempre” (60%) ocurre. Este nivel de ruido puede causar problemas con la comunicación y en el entorno de trabajo.

**Pregunta 12:**

**Figura 23**

*Respuesta a la pregunta 12*



La Figura 23 muestra que cada trabajador tenía antecedentes de condiciones asociadas con la exposición acumulativa al ruido. Esta disponibilidad en diferentes marcos de tiempo confirma que ninguno de los empleados queda ajeno al entorno acústico del lugar de trabajo.

**Pregunta 13:**

**Figura 24**

*Respuesta a la pregunta 13*



Los síntomas de mayor frecuencia incluyen irritabilidad o fatiga (80%), estrés y pérdida de concentración en un 60% (ver Figura 24). También subraya los efectos perjudiciales del ruido sobre la salud física y mental de los empleados. Por lo tanto, los resultados del cuestionario de escala validan la necesidad de implementar medidas de control.

#### **4.1.2 Planta purificadora de agua**

Con la información obtenida del cuestionario se procedió a la identificación de los procesos que emplea la planta purificadora de agua, además también se identificó la maquinaria que se encuentra en la planta y también las características de los equipos, esto se evidencia en la Figura 26.a y la Figura 26.b.

#### **Figura 25**

*Identificación de a) la planta purificadora y b) la maquinaria que se emplea*

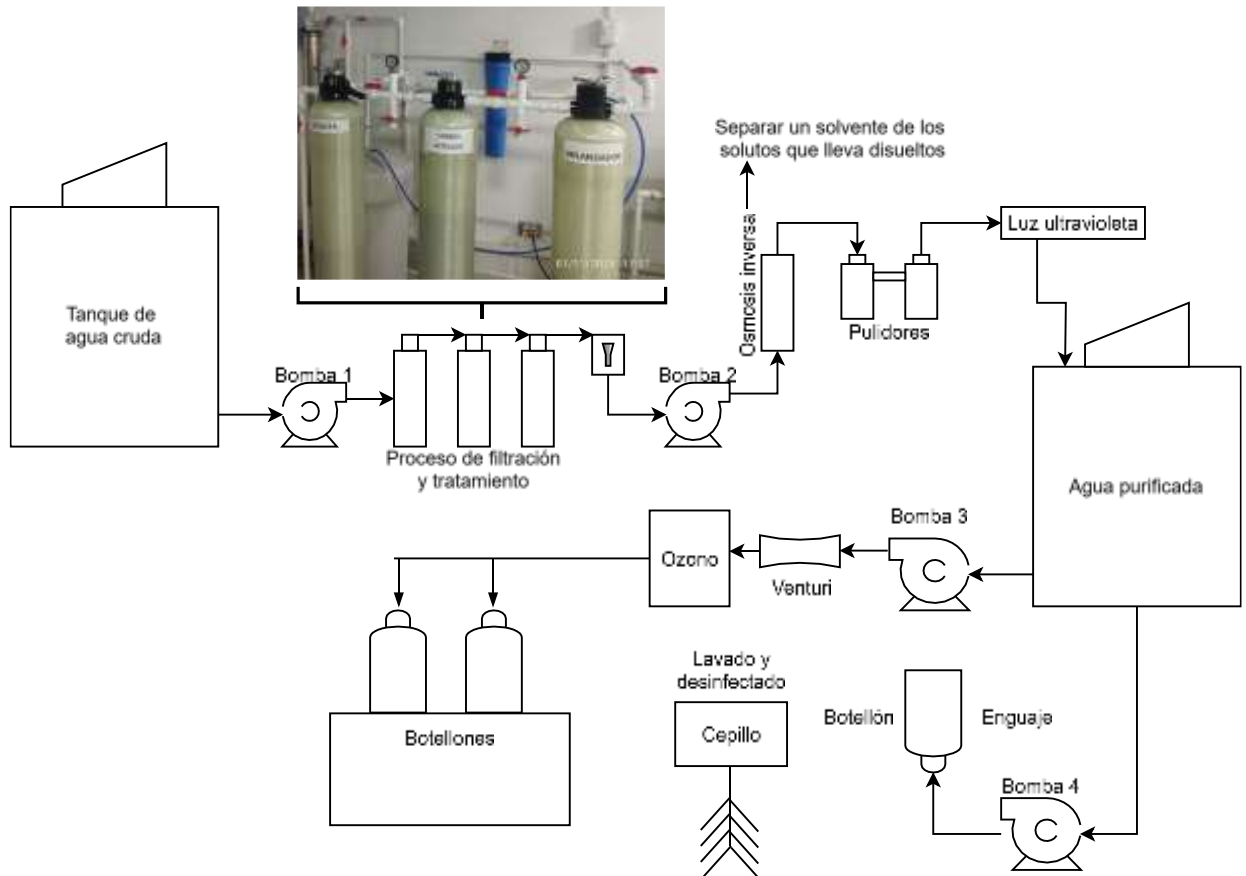


A través de la Figura 27 se observa el proceso de la planta purificadora de agua, la cual en esencia presenta subprocesos de la limpieza y purificación de agua para el llenado de botellas, tales como etapas de filtración, ósmosis inversa, unidades de pulido, luz

ultravioleta UV, ozono y lavado de botellas. Además, cuenta con bombas, válvulas e incorpora un Venturi para la inyección de ozono y control del fluido.

**Figura 26**

*Planta purificadora de agua*


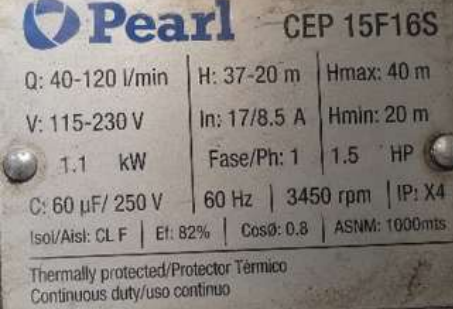
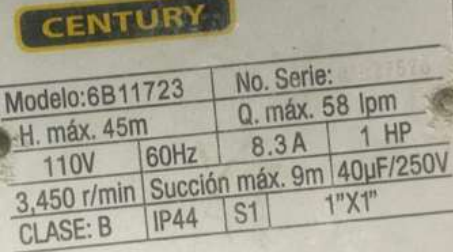




*Nota.* En el Anexo E se indican las fotos reales del proceso de la planta.

La Tabla 6 indica el papel de cada una de las 4 bombas centrífugas y el motor utilizadas en la purificación del agua, e incluye, además, algunas características eléctricas como el voltaje de alimentación (115–230 V), la frecuencia de ocurrencia (60 Hz), la potencia nominal entre 1 a 2 HP y otras especificaciones como la marca, modelo, corriente nominal, velocidad, caudal, altura máxima y aislamiento.

**Tabla 6**

*Características de las bombas centrífugas*

Elementos	Función en la planta (ver Figura 26)	Características técnicas																								
Bomba 1 de 2 HP	Alimentación: se alimenta el tanque de agua cruda (agua que llega de la red pública), he impulsa el agua por medio de los tanques de zeolita, carbón activado, resina catiónica y por el filtro de 1 micra.	 <p><b>PEDROLLO</b> www.pedrollo.com MADE IN ITALY - 19813 Lot: 230144 Ind. D</p> <p>MODELO JSWm 2CX</p> <table border="1"> <tr> <td>Q</td> <td>5-70 l/min</td> <td>H</td> <td>47-20</td> </tr> <tr> <td>Hmax</td> <td>50 m</td> <td>Hmin</td> <td>20 m</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>110 V</td> <td>60 Hz</td> <td>3450 min<sup>-1</sup></td> </tr> <tr> <td>P2</td> <td>1.5 kW - 2 HP</td> <td>In</td> <td>16 A P1 1650 W</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>60 µF - 300 V</td> <td colspan="2">I.C.L. F IP X4</td> </tr> </table> <p>CE Thermally protected Continuous duty S1 Electropump JSWm 2CX N. 230144 - 1 - MADE IN ITALY</p>	Q	5-70 l/min	H	47-20	Hmax	50 m	Hmin	20 m	V	110 V	60 Hz	3450 min <sup>-1</sup>	P2	1.5 kW - 2 HP	In	16 A P1 1650 W	C	60 µF - 300 V	I.C.L. F IP X4					
Q	5-70 l/min	H	47-20																							
Hmax	50 m	Hmin	20 m																							
V	110 V	60 Hz	3450 min <sup>-1</sup>																							
P2	1.5 kW - 2 HP	In	16 A P1 1650 W																							
C	60 µF - 300 V	I.C.L. F IP X4																								
Bomba 2 de 1,5 HP	Osmosis inversa: para que el agua logre pasar por la osmosis inversa, los pulidores y la luz ultravioleta necesita una presión de 120 a 150 psi, debido a que el agua debe vencer la presión osmótica natural del agua para forzar su paso a través de la membrana semipermeable.	 <p><b>Pearl</b> CEP 15F16S</p> <table border="1"> <tr> <td>Q:</td> <td>40-120 l/min</td> <td>H:</td> <td>37-20 m</td> <td>Hmax:</td> <td>40 m</td> </tr> <tr> <td>V:</td> <td>115-230 V</td> <td>In:</td> <td>17/8.5 A</td> <td>Hmin:</td> <td>20 m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1.1 kW</td> <td>Fase/Ph:</td> <td>1</td> <td></td> <td>1.5 HP</td> </tr> <tr> <td>C:</td> <td>60 µF/ 250 V</td> <td>60 Hz</td> <td>3450 rpm</td> <td>IP:</td> <td>X4</td> </tr> </table> <p>ISO/AIS: CL F   Ef: 82%   Cosφ: 0.8   ASN: 1000mts</p> <p>Thermally protected/Protector Termico Continuous duty/uso continuo</p>	Q:	40-120 l/min	H:	37-20 m	Hmax:	40 m	V:	115-230 V	In:	17/8.5 A	Hmin:	20 m		1.1 kW	Fase/Ph:	1		1.5 HP	C:	60 µF/ 250 V	60 Hz	3450 rpm	IP:	X4
Q:	40-120 l/min	H:	37-20 m	Hmax:	40 m																					
V:	115-230 V	In:	17/8.5 A	Hmin:	20 m																					
	1.1 kW	Fase/Ph:	1		1.5 HP																					
C:	60 µF/ 250 V	60 Hz	3450 rpm	IP:	X4																					
Bomba 3 de 1 HP	Embotellado, se usa para aumentar el caudal y para la distribución del agua con el fin de llenar los botellones. También toma el agua del tanque de agua purificada y lo pasa por el ozono.	 <p><b>CENTURY</b></p> <table border="1"> <tr> <td>Modelo:</td> <td>6B11723</td> <td>No. Serie:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>H. máx.</td> <td>45m</td> <td>Q. máx.</td> <td>58 lpm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>110V</td> <td>60Hz</td> <td>8.3 A</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3,450 r/min</td> <td>Succión máx.</td> <td>9m</td> </tr> <tr> <td>CLASE:</td> <td>B</td> <td>IP44</td> <td>S1</td> </tr> </table> <p>1 HP 40µF/250V 1"X1"</p>	Modelo:	6B11723	No. Serie:		H. máx.	45m	Q. máx.	58 lpm		110V	60Hz	8.3 A		3,450 r/min	Succión máx.	9m	CLASE:	B	IP44	S1				
Modelo:	6B11723	No. Serie:																								
H. máx.	45m	Q. máx.	58 lpm																							
	110V	60Hz	8.3 A																							
	3,450 r/min	Succión máx.	9m																							
CLASE:	B	IP44	S1																							
Bomba 4 de 2 HP	Impulsando el agua para el proceso de enjuague/limpieza del sistema y los contenedores. Se utiliza durante tareas de mantenimiento o con fines de sanitización.	 <p><b>PEDROLLO</b> www.pedrollo.com MADE IN ITALY - 19813 Lot: 230144 Ind. D</p> <p>MODELO JSWm 2CX</p> <table border="1"> <tr> <td>Q</td> <td>5-70 l/min</td> <td>H</td> <td>47-20</td> </tr> <tr> <td>Hmax</td> <td>50 m</td> <td>Hmin</td> <td>20 m</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>110 V</td> <td>60 Hz</td> <td>3450 min<sup>-1</sup></td> </tr> <tr> <td>P2</td> <td>1.5 kW - 2 HP</td> <td>In</td> <td>16 A P1 1650 W</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>60 µF - 300 V</td> <td colspan="2">I.C.L. F IP X4</td> </tr> </table> <p>CE Thermally protected Continuous duty S1 Electropump JSWm 2CX N. 230144 - 1 - MADE IN ITALY</p>	Q	5-70 l/min	H	47-20	Hmax	50 m	Hmin	20 m	V	110 V	60 Hz	3450 min <sup>-1</sup>	P2	1.5 kW - 2 HP	In	16 A P1 1650 W	C	60 µF - 300 V	I.C.L. F IP X4					
Q	5-70 l/min	H	47-20																							
Hmax	50 m	Hmin	20 m																							
V	110 V	60 Hz	3450 min <sup>-1</sup>																							
P2	1.5 kW - 2 HP	In	16 A P1 1650 W																							
C	60 µF - 300 V	I.C.L. F IP X4																								
Motor de 1 HP	Hace girar un cepillo el cual se introduce en los botellones para realizar un respectivo lavado	 <p><b>GEKA</b></p> <p>pk4plus@gmail.com 055445418 - 098228495</p>																								

Por último, la planta cuenta con varias válvulas, cuyo obturador puede ser de movimiento lineal o rotativo descritos en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Características de las válvulas en la planta purificadora de agua*

<b>Cantidad</b>	<b>Tipo de válvula</b>	<b>Material</b>	<b>Movimiento del obturador</b>
3	Esfera o de bola	Acero inoxidable	Rotativo
7	Esfera o de bola	Plástico	Rotativo
1	Globo	Acero inoxidable	Lineal
2	Check o de retención	Cobre	Lineal o rotativo

#### **4.1.3 Niveles de ruido existentes en la planta**

**Etapa 1.** Se presenta una lista de control haciendo hincapié en la organización, los trabajadores y sus actividades, descritos a continuación:

- Actividades y funciones globales del trabajador:
  - Operación del motor y bombas centrífugas.
  - Supervisión de los procesos dentro de la planta.
  - Lavado, embotellado y sellado de los botellones.
  - Despacho del producto.
- Definir grupos de exposición homogéneos (GEH) en la planta:
  - GEH 1: operadores de producción (4 personas)
  - GEH 2: personal de supervisión (1 personas).
- Determinar la jornada nominal de la siguiente manera:
  - 8 horas laborales de la jornada diaria (esto ayuda al cálculo de  $L_{EX,8h}$ ).
  - Incluye pausas ante la hora de almuerzo de los trabajadores.
- Identificar eventos de ruido considerables en la planta:
  - Operación simultánea del motor y bombas centrífugas.
  - Ruido durante el lavado y/o desinfección.

**Etapa 2.** Se emplea la estrategia de medición basada en la función.

**Etapa 3.** Se realiza el plan de medición, descrito a continuación:

- Se tienen  $n_G = 5$  trabajadores, por lo que la duración mínima acumulativa es de 5 horas, equivalente a 300 minutos. Por tanto, se llevan a cabo 20 mediciones de 15 minutos cada una.
- La jornada laboral es 8 horas (sin incluir la hora de almuerzo), esto se traduce en la planta de 08:00 a 17:00.

Bajo los parámetros previamente establecidos, se selecciona el total de trabajadores de la planta, que en este caso son 5 y su distribución de las mediciones visto en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Periodos de medición del nivel de ruido en la planta*

# Días	GEH	$n_G$	Jornadas		Periodos de medición
			Mañana	Tarde	
1	1	2	X		08:00 – 09:00, 11:00 – 12:00
2	1	2		X	14:00 – 15:00, 16:00 – 17:00
3	2	1	X		10:00 – 11:00

**Etapa 4.** Las mediciones se llevan a cabo con el sonómetro Cirrus de Clase 1. No obstante, el instrumento debe ser calibrado (laboratorio y de campo) adecuadamente, tal como se muestra en el Anexo C.

**Etapa 5.** Resultados de las mediciones de ruido e incertidumbre

El análisis señala que se producen aumentos de ruido en 3 dB(A), desde 86,6 dB(A) hasta los 89,6 dB(A) en la planta; tal como se visualiza en la Tabla 9. A un nivel superior de 85 dB(A), el ruido constituye un riesgo ocupacional porque puede poner en peligro la salud y el bienestar de los trabajadores mediante el agotamiento, la presión, la pérdida de concentración e incluso posibles variaciones en la audición.

**Tabla 9***Medición de ruido existente en la planta*

#	dB(A)	#	dB(A)	#	dB(A)	#	dB(A)
1	86,6	6	86,6	11	86,7	16	86,8
2	87,5	7	86,8	12	87,4	17	86,6
3	87,9	8	87,5	13	88,1	18	87,3
4	88,8	9	88	14	88,3	19	88,2
5	88,8	10	88,5	15	89,6	20	88,5

Todos los trabajadores del GEH de la planta, reciben un nivel de exposición al ruido ponderado  $L_{p,A,eqT_e}$  de 87,81 dB bajo una incertidumbre expandida  $U$  igual a  $\pm 2,2$  dB. El desarrollo de cálculo se describe según los siguientes parámetros:

- Al utilizar la Ecuación 2, se obtiene  $L_{p,A,eqT_e}$ .

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \log \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 * L_{p,A,eqT,n}} \right)$$

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \log \left( \frac{1}{20} (10^{0,1(86,6)} + 10^{0,1(87,5)} + \dots + 10^{0,1(88,5)}) \right)$$

$$L_{p,A,eqT_e} = 87,81 \text{ dB}$$

- $N = 20$  muestras.
- Presenta un valor  $\bar{L}_{p,A,eqT}$  igual a 87,73 dB(A) (promedio de mediciones de la Tabla 9).
- Al aplicar la Ecuación 5, se obtiene un  $u_1 = 1,93 \text{ dB}$ .

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[ \sum_{n=1}^N (L_{p,A,eqT,n} - \bar{L}_{p,A,eqT})^2 \right]}$$

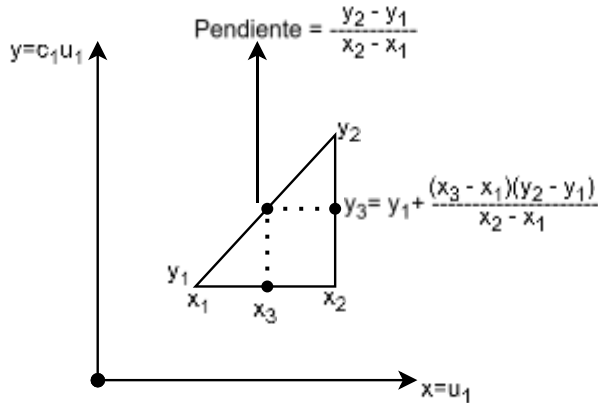
$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{20-1} [(86,6 - 87,73)^2 + (87,5 - 87,73)^2 + \dots + (88,5 - 87,73)^2]} = 1,93 \text{ dB}$$

- El valor de  $u_1$  se sitúa entre 1,5 a 2 dB de la Tabla 5 y sus contribuciones  $c_1 u_1$  están entre 0,4 a 0,5 dB. Al aplicar, una interpolación lineal entre el par de puntos se tiene

un  $c_1 u_1 = 0,5$ ; tal como se indica en la Figura 27, donde  $x_3 = 1,93$  dB,  $x_1 = 1,5$  dB,  $x_2 = 2,0$  dB,  $y_1 = 0,4$  dB y  $y_2 = 0,5$  dB.

**Figura 27**

*Interpolación lineal*



$$c_1 u_1 = y_3 = y_1 + \frac{(x_3 - x_1)(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1}$$

$$c_1 u_1 = 0,4 + \frac{(1,93 - 1,5)(0,5 - 0,4)}{2 - 1,5} = 0,5$$

- $c_2 = 1, u_2 = 0,7$  dB y  $u_3 = 1$  dB.
- Al emplear la Ecuación 4, se obtiene una incertidumbre  $u(L_{EX,8h}) = 1,3$  dB y expandida  $U = 2,2$  dB.

$$u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

$$u(L_{EX,8h}) = \sqrt{0,5^2 + (0,7^2 + 1)} = 1,3$$

$$U = 1,65u$$

$$U = 1,65(1,3) = 2,2 \text{ dB}$$

## 4.2 Diseño del sistema de insonorización y análisis de propiedades en los materiales

### 4.2.1 Jerarquía de controles

En la salud y seguridad ocupacional, la jerarquía de controles de ruido se considera como un sistema de gestión de riesgos orientado a la protección auditiva. Este se compone en 5 niveles de eficiencia, tales como eliminación, sustitución, controles de ingeniería,

controles administrativos y equipos de protección personal EPP, visto en la Figura 28 (3M, 2026).

### Figura 28

#### *Jerarquía de controles*



*Nota.* Recuperado de (3M, 2026)

Según la jerarquía de controles en la planta, esta medida corresponde principalmente a un control de ingeniería, ya que pretende actuar directamente sobre la fuente de ruido a través de modificaciones físicas en el entorno de trabajo, como la implementación del sistema de insonorización. Este permite reducir el nivel de ruido antes de que llegue al trabajador y disminuir de manera más eficiente y duradera la exposición.

Los análisis no están incluidos en el nivel de eliminación, ya que el ruido no se puede excluir por completo sin detener los procesos de producción o retirar equipos que son esenciales para las operaciones de la empresa. Tampoco se puede realizar un aislamiento en un cuarto de máquinas, ya que el sistema está diseñado para que funcione de esa forma, esto conllevaría a efectuar nuevos cálculos e instalaciones y la compra de nueva maquinaria, todo esto se traduce a un costo excesivo. Además, no se considera el nivel de sustitución, porque

la máquina o el proceso ruidoso no se reemplaza por otro menos ruidoso; sino que, más bien, se controla el impacto acústico del sistema en funcionamiento.

Del mismo modo, no se trata simplemente del control administrativo, porque no depende principalmente de la capacitación, la rotación del personal, señalización o la reducción de los tiempos de exposición. Por último, pero no menos importante, esto no se refiere únicamente a la utilización del EPP, ya que reducir el ruido en la fuente es más importante que solo proteger a los trabajadores con protectores auditivos o tapones para los oídos.

#### ***4.2.2 Análisis de los materiales***

Los coeficientes de absorción de los materiales analizados son diferentes y determinados. El PVC con espuma de celda flexible posee un  $\alpha = 0.25-0.84$ ; el cual es más efectivo a frecuencias medias, pero ya en general se considera una barrera de aislamiento debido a la alta densidad. También se tiene otra combinación con el PVC y es el corcho, cuyo rango  $\alpha$  (0,12 – 0,77) es menor que el de espuma flexible; no obstante, presenta una mejor conductividad térmica. Por otro lado, la absorción de melamina se considera como material de celda abierta, el cual varía en un rango de  $\alpha = 0.50-0.95$ ; es un material muy efectivo en todo el rango de frecuencias. El gypsum es un material denso y no poroso; su absorción es moderada y presenta una barrera de aislamiento estructural dentro del sistema de insonorización. Además, estos 3 materiales presentan otras características detalladas en la Tabla 10.

**Tabla 10***Análisis de propiedades de los materiales*

<b>Propiedades</b>	<b>PVC</b>	<b>Espuma flexible</b>	<b>Corcho</b>	<b>Melamina</b>	<b>Gypsum (Panel de yeso)</b>
Tipo de estructura		Celda abierta			Material denso no poroso
Coefficiente de absorción sonora ( $\alpha$ )	0,02 – 0,40	0,02 – 0,9	0,12 – 0,78	0,50 – 0,95	0,40 – 0,70
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1300 – 1450	26 – 116	170 – 190	4 - 12	750 – 950
Frecuencia de absorción del sonido (kHz)	0,1 – 5	0,05 – 3,2	0,1 – 5	0,432 – 4	0,125 – 4
Conductividad térmica (W/mK)	0,16 – 0,17	0,02 – 0,045	0,14 – 0,15	≤ 0,035	–
Rango de espesores (cm)	0,2 – 2,0	≤ 6,0	≤ 5	0,95 – 1,59	0,50 – 5,0
Espesor usado (cm)	0,3	1,8	0,4	1,40	1,30

*Nota.* Adaptado en base a varias fichas técnicas del Anexo D y diversas fuentes

provenientes de (Bunker Audio, 2026; La Sureda Cork, 2026; Li, 2024; SINOYQX, 2023; Tiuc et al., 2022; T. Zhang et al., 2024)

El sistema de insonorización utilizó como material el PVC con espuma flexible de celda abierta, el cual ofrece propiedades de aislamiento adecuadas para el entorno industrial. El cloruro de polivinilo protege el sonido principalmente dificultando su transmisión a través del material, reduciendo las vibraciones mecánicas. La espuma flexible unida a la cara interior contribuye a absorber la energía sonora, especialmente en las frecuencias medias. Además, el sistema es resistente al agua y fácil de mantener e instalar. Es una alternativa duradera y considerada de bajo coste, que se aplica sin afectar las condiciones de funcionamiento y mantenimiento de la planta purificadora. Además, debe mantener la función adecuada del sistema de aislamiento acústico y garantizar la adaptación del material aislante sin comprometer las propiedades funcionales del encapsulamiento.

Como segundo material se tiene a la melamina por ser un material fonoabsorbente de alto desempeño y fácil disponibilidad comercial en forma de tableros aglomerados recubiertos con resina melamínica. La estructura y composición de este material permiten obtener coeficientes de absorción acústica elevados, especialmente en frecuencias medias y altas, por lo que es el adecuado para la situación utilizada en este caso aplicada para la reducción de ruido de equipos con bombas y motor. Además, tiene resistencia al calor y fuego, agentes químicos y un buen acabado superficial de fácil limpieza, el diseño con cortes a 45° y uniones atornilladas desmontables asegura mantenibilidad en condiciones reales de planta, con posibilidad de replicabilidad.

Como tercer material se tiene al gypsum, el cual se utilizó debido a la habilidad de aislamiento acústico, basada en la densidad y su estructura multicapa, que beneficiada la atenuación del sonido. Aunque la absorción acústica máxima del gypsum es sustancialmente menor que los otros 2 materiales antes mencionados, su función principal dentro de la envoltura en este caso es para actuar como un elemento de aislamiento estructural, evitando la propagación del ruido al aire libre. La estructura puede considerarse estable, desbloqueable fácilmente en caso de reparación y fácil de montar. Todo ello combinado, el material de gypsum resulta ser una alternativa viable, barata y bien conocida en aplicaciones donde no se requiere solo aislamiento de ruido, sino también acabado y resistencia al fuego.

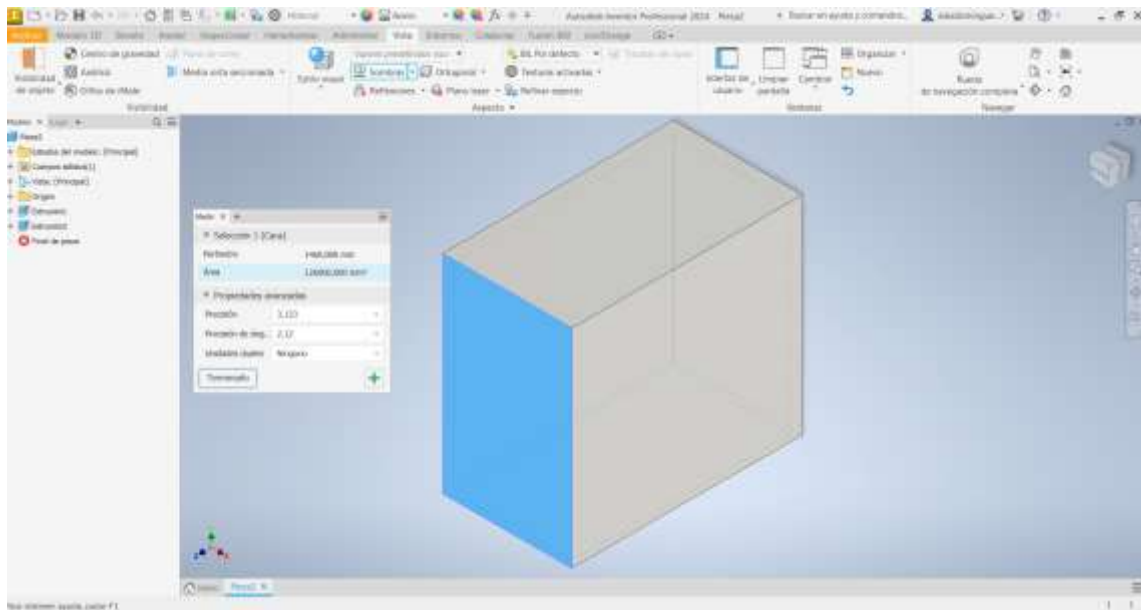
Finalmente, el cuarto material compuesto de PVC + (corcho aglomerado con goma o corcho caucho) y formado por una estructura parcialmente porosa con una gran capacidad para promover la absorción acústica en un rango de frecuencia medio, y con coeficientes  $\alpha$  entre 0,12 a 0,78 según su composición. Es un material útil para proporcionar tanto aislamiento térmico como acústico en aplicaciones en las que se necesita control de ruido.

### 4.2.3 Resultados del diseño

Una vez que se tuvo las dimensiones requeridas en las bombas y motor (ver Figura 14.b), se procedió a realizar el diseño del sistema de insonorización, realizado en el software CAD (Autodesk Inventor), tal como se indica en la Figura 29.

**Figura 29**

*Modelado CAD base para el sistema de insonorización*



De esta forma, se obtuvo una estimación de la cantidad necesaria de material y las dimensiones (ver Tabla 11) definitivas del habitáculo silenciador, sin considerar el detalle de las perforaciones para las tuberías. Este arreglo se realizó con el propósito de asegurar la calidad de los cortes y evitar desalineaciones capaces de disminuir la eficiencia del sistema.

**Tabla 11**

*Dimensiones del sistema de insonorización por cada máquina*

Máquinas	Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)
Bomba 1	27	45	45
Bomba 2	14	20	37
Bomba 3	16	34	44
Bomba 4	35	59	50
Motor	35	30	38

### 4.3 Implementación del sistema y mediciones finales

Previo a las mediciones finales y cálculo de incertidumbre, se acoge el mismo detalle de las etapas de la norma INEN-ISO 9612 del Apartado 4.1.2.

#### 4.3.1 Implementación del sistema de insonorización

El sistema de insonorización empleó 4 configuraciones constructivas, cada una presentó materiales diferentes como el PVC + espuma y otra con corcho, melamina y gypsum. Estos se ocuparon con el propósito de absorber la energía sonora generada por equipos electromecánicos en planta a fin de reducir el nivel de ruido industrial. En base a un criterio geométrico y de espesor distintivo (ver Tabla 8), se realizó constructivamente la implementación de los sistemas, lo cual asistió en la garantía de la replicabilidad de resultados, facilidad de instalación y compatibilidad con el entorno de trabajo. A través de la Figura 30.a) se visualizó la evidencia ante el uso de la melamina de material estructural rígido y en la Figura 30.b) se observó la espuma flexible como material fonoabsorbente.

#### Figura 30

*Materiales del sistema de insonorización como a) melamina y b) espuma flexible*



En la Figura 31, se muestra el ensamblado de 3 sistemas de insonorización propuestos, en el inciso a) con melamina, en b) formado por PVC combinado con espuma flexible cuyo PVC funciona como cerramiento rígido y la espuma flexible como

fonoabsorbente interno y en c) con el sistema construido con gypsum que le proporciona estabilidad al encapsulado. La comparación de estos tres sistemas permite hacer una evaluación del comportamiento acústico de cada uno.

### Figura 31

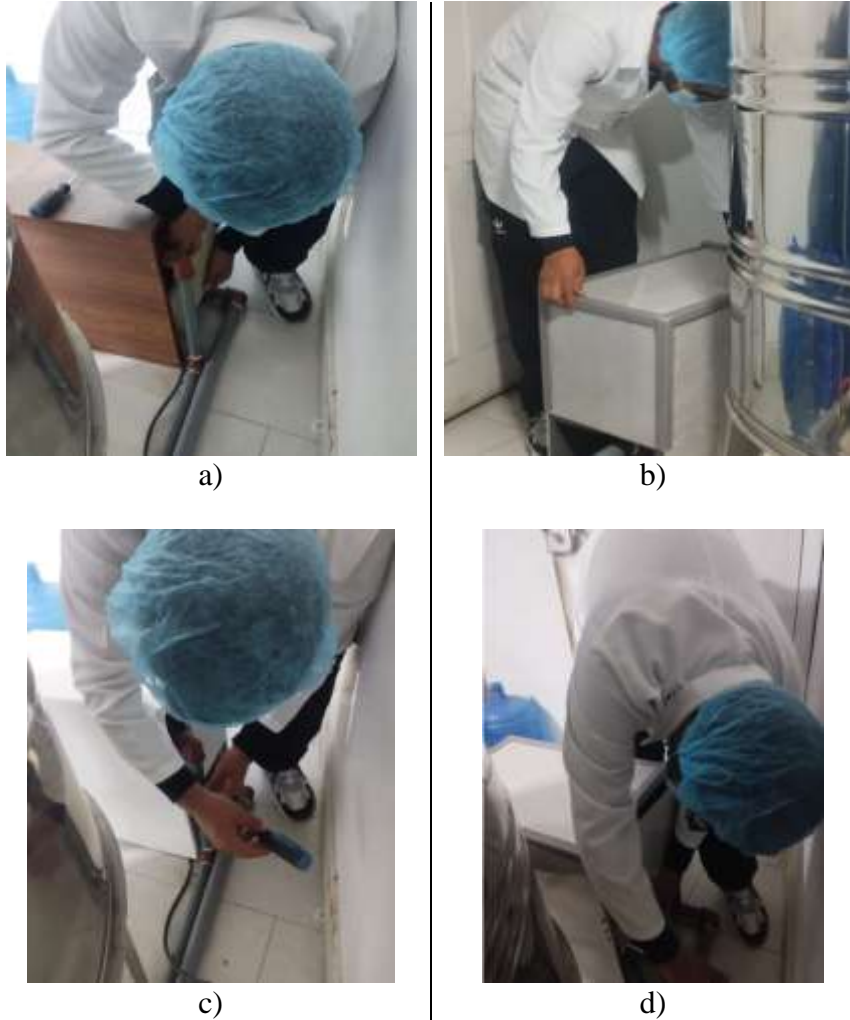
*Ensamble del sistema de insonorización con a) melamina, b) PVC + espuma y c) gypsum*



Finalmente, el sistema de insonorización a través del uso de diferentes materiales se implementó en el área de producción de la planta, tal como se muestra en la Figura 32. Para cada uno de los casos, se planteó el montaje de las cabinas alrededor de los equipos que generan ruido, asegurando un buen ajuste y sellado para evitar la fuga sonora y su integración con la infraestructura existente. A partir de esta etapa, fue posible analizar el funcionamiento en operación diaria, la estabilidad estructural y compatibilidad de cada sistema con el proceso de trabajo. De esta manera, fue posible definir un acercamiento comparativo para el estudio del rendimiento acústico.

### Figura 32

Implementación del sistema de insonorización con a) melamina, b) PVC + espuma, c) gypsum y d) PVC + corcho, en la planta



#### 4.3.2 Mediciones con el sistema de insonorización (PVC + espuma)

Aplicando el PVC + espuma, se tienen mediciones entre 72,4 a 75,2 dB(A), cuya variación no supera los 2,8 dB(A), tal como se observa en la Tabla 12. Debido al uso del material antes mencionado, existe una disminución del ruido, siendo menor a 85 dB(A).

**Tabla 12***Medición de ruido en la planta (PVC + Espuma)*

#	dB(A)	#	dB(A)	#	dB(A)	#	dB(A)
1	73,2	6	72,6	11	72,4	16	72,6
2	73,5	7	73,2	12	73,1	17	73,0
3	74,3	8	73,6	13	73,7	18	73,8
4	74,3	9	73,9	14	73,8	19	74,0
5	72,4	10	75,0	15	75,1	20	75,2

Los 5 trabajadores del GEH de la planta, reciben un nivel de exposición al ruido ponderado  $L_{p,A,eqT_e}$  de 73,72 dB bajo una incertidumbre expandida  $U$  igual a  $\pm 2,2$  dB. El desarrollo de cálculo se describe según los siguientes parámetros:

- Al utilizar la Ecuación 2, se obtiene  $L_{p,A,eqT_e}$ .

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \log \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 * L_{p,A,eqT,n}} \right)$$

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \log \left( \frac{1}{20} (10^{0,1(73,2)} + 10^{0,1(73,5)} + \dots + 10^{0,1(75,2)}) \right)$$

$$L_{p,A,eqT_e} = 73,72 \text{ dB}$$

- $N = 20$  muestras.
- Presenta un valor  $\bar{L}_{p,A,eqT}$  igual a 73,64 dB(A) (promedio de mediciones de la Tabla 12).
- Al aplicar la Ecuación 5, se obtiene un  $u_1 = 2,14 \text{ dB}$ .

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[ \sum_{n=1}^N (L_{p,A,eqT,n} - \bar{L}_{p,A,eqT})^2 \right]}$$

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{20-1} [(73,2 - 73,64)^2 + (73,5 - 73,64)^2 + \dots + (75,2 - 73,64)^2]} = 2,14 \text{ dB}$$

- El valor de  $u_1$  se sitúa entre 2,0 a 2,5 dB de la Tabla 5 y sus contribuciones  $c_1 u_1$  están entre 0,5 a 0,7 dB. Al aplicar, una interpolación lineal entre el par de puntos se

tiene un  $c_1 u_1 = 0,6$ , donde  $x_3 = 2,14$  dB,  $x_1 = 2$  dB,  $x_2 = 2,5$  dB,  $y_1 = 0,5$  dB y  $y_2 = 0,7$  dB.

$$c_1 u_1 = y_3 = y_1 + \frac{(x_3 - x_1)(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1}$$

$$c_1 u_1 = 0,5 + \frac{(2,14 - 2)(0,7 - 0,5)}{2,5 - 2,0} = 0,6$$

- $c_2 = 1$ ,  $u_2 = 0,7$  dB y  $u_3 = 1$  dB.
- Aplicando la Ecuación 4, se obtiene una incertidumbre  $u(L_{EX,8h}) = 1,3$  dB y expandida  $U = 2,2$  dB.

$$u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

$$u(L_{EX,8h}) = \sqrt{0,6^2 + (0,7^2 + 1)} = 1,3$$

$$U = 1,65u$$

$$U = 1,65(1,3) = 2,2 \text{ dB}$$

#### 4.3.3 Mediciones con el sistema de insonorización (melamina)

El análisis señala que se producen aumentos de ruido en 2,9 dB(A), desde 76,4 dB(A) hasta los 79,3 dB(A) en la planta; visto en la Tabla 13. A pesar de que sus mediciones son inferiores a los 85 dB(A), se evidenció que el sistema de insonorización con melamina resulta efectivo para la reducción del ruido en el área de producción, aunque con niveles ligeramente superiores respecto al sistema PVC + espuma.

**Tabla 13**

*Medición de ruido actual en la planta (Melamina)*

#	dB(A)	#	dB(A)	#	dB(A)	#	dB(A)
1	76,4	6	76,5	11	76,6	16	76,7
2	77,3	7	76,7	12	77,2	17	76,4
3	77,6	8	77,3	13	77,8	18	77,1
4	78,4	9	77,7	14	78,0	19	77,9
5	78,4	10	78,2	15	79,3	20	78,2

Todos los trabajadores del GEH de la planta, reciben un nivel de exposición al ruido ponderado  $L_{p,A,eqT_e}$  de 77,56 dB bajo una incertidumbre expandida  $U$  igual a  $\pm 2,1$  dB. El desarrollo de cálculo se describe según los siguientes parámetros:

- Al utilizar la Ecuación 2, se obtiene  $L_{p,A,eqT_e}$ .

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \log \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 * L_{p,A,eqT,n}} \right)$$

$$L_{Aeq} = 10 \log \left( \frac{1}{20} (10^{0,1(76,4)} + 10^{0,1(77,3)} + \dots + 10^{0,1(78,2)}) \right)$$

$$L_{p,A,eqT_e} = 77,56 \text{ dB}$$

- $N = 20$  muestras.
- Presenta un valor  $\bar{L}_{p,A,eqT}$  igual a 77,49 dB(A) (promedio de mediciones de la Tabla 13).
- A partir de la Ecuación 5, se obtiene un  $u_1 = 1,77 \text{ dB}$ .

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[ \sum_{n=1}^N (L_{p,A,eqT,n} - \bar{L}_{p,A,eqT})^2 \right]}$$

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{20-1} [(76,4 - 77,49)^2 + (77,3 - 77,49)^2 + \dots + (78,2 - 77,49)^2]} = 1,77 \text{ dB}$$

- El valor de  $u_1$  se sitúa entre 1,5 a 2 dB de la Tabla 5 y sus contribuciones  $c_1 u_1$  están entre 0,4 a 0,5 dB. Al aplicar, una interpolación lineal entre el par de puntos se tiene un  $c_1 u_1 = 0,5$ ; donde  $x_3 = 1,77 \text{ dB}$ ,  $x_1 = 1,5 \text{ dB}$ ,  $x_2 = 2,0 \text{ dB}$ ,  $y_1 = 0,4 \text{ dB}$  y  $y_2 = 0,5 \text{ dB}$ .

$$c_1 u_1 = y_3 = y_1 + \frac{(x_3 - x_1)(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1}$$

$$c_1 u_1 = 0,4 + \frac{(1,77 - 1,5)(0,5 - 0,4)}{2 - 1,5} = 0,5$$

- $c_2 = 1$ ,  $u_2 = 0,7$  dB y  $u_3 = 1$  dB.
- Al emplear la Ecuación 4, se obtiene una incertidumbre  $u(L_{EX,8h}) = 1,3$  dB y expandida  $U = 2,1$  dB.

$$u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

$$u(L_{EX,8h}) = \sqrt{0,5^2 + (0,7^2 + 1)} = 1,3$$

$$U = 1,65u$$

$$U = 1,65(1,3) = 2,1 \text{ dB}$$

#### 4.3.4 Mediciones con el sistema de insonorización (gypsum)

El análisis señala que se producen aumentos de ruido en 2,1 dB(A), desde 76,7 dB(A) hasta los 78,8 dB(A), como se ilustra en la Tabla 14. Sus valores son superiores al de PVC + espuma; no obstante, son similares al de melamina. Todos los valores indicados en la Tabla están por debajo del límite de 85 dB(A), evidenciando que este sistema redujo el ruido respecto al estado inicial.

**Tabla 14**

*Medición de ruido actual en la planta (Gypsum)*

#	dB(A)	#	dB(A)	#	dB(A)	#	dB(A)
1	76,7	6	76,8	11	76,8	16	77,0
2	77,6	7	77,0	12	77,5	17	76,7
3	77,9	8	77,6	13	78,1	18	77,4
4	78,7	9	78,0	14	78,3	19	78,2
5	78,7	10	78,5	15	78,8	20	78,5

Todos los trabajadores del GEH de la planta, reciben un nivel de exposición al ruido ponderado  $L_{p,A,eqT_e}$  de 77,80 dB bajo una incertidumbre expandida  $U$  igual a  $\pm 2,1$  dB. El desarrollo de cálculo se describe según los siguientes parámetros:

- Al utilizar la Ecuación 2, se obtiene  $L_{p,A,eqT_e}$ .

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \log \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 * L_{p,A,eqT,n}} \right)$$

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \log \left( \frac{1}{20} (10^{0,1(76,7)} + 10^{0,1(77,6)} + \dots + 10^{0,1(78,5)}) \right)$$

$$L_{p,A,eqT_e} = 77,80 \text{ dB}$$

- $N = 20$  muestras.
- Presenta un valor  $\bar{L}_{p,A,eqT}$  igual a 77,74 dB(A) (promedio de mediciones de la Tabla 14).
- Al aplicar la Ecuación 5, se obtiene un  $u_1 = 1,71 \text{ dB}$ .

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[ \sum_{n=1}^N (L_{p,A,eqT,n} - \bar{L}_{p,A,eqT})^2 \right]}$$

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{20-1} [(76,7 - 77,74)^2 + (77,6 - 77,74)^2 + \dots + (78,5 - 77,74)^2]} = 1,71 \text{ dB}$$

- El valor de  $u_1$  se sitúa entre 1,5 a 2 dB de la Tabla 5 y sus contribuciones  $c_1 u_1$  están entre 0,4 a 0,5 dB. Al aplicar, una interpolación lineal entre el par de puntos se tiene un  $c_1 u_1 = 0,4$ ; donde  $x_3 = 1,71 \text{ dB}$ ,  $x_1 = 1,5 \text{ dB}$ ,  $x_2 = 2,0 \text{ dB}$ ,  $y_1 = 0,4 \text{ dB}$  y  $y_2 = 0,5 \text{ dB}$ .

$$c_1 u_1 = y_3 = y_1 + \frac{(x_3 - x_1)(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1}$$

$$c_1 u_1 = 0,4 + \frac{(1,71 - 1,5)(0,5 - 0,4)}{2 - 1,5} = 0,4$$

- $c_2 = 1$ ,  $u_2 = 0,7 \text{ dB}$  y  $u_3 = 1 \text{ dB}$ .
- Al emplear la Ecuación 4, se obtiene una incertidumbre  $u(L_{EX,8h}) = 1,3 \text{ dB}$  y expandida  $U = 2,1 \text{ dB}$ .

$$u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

$$u(L_{EX,8h}) = \sqrt{0,4^2 + (0,7^2 + 1)} = 1,3$$

$$U = 1,65u$$

$$U = 1,65(1,3) = 2,1 \text{ dB}$$

#### 4.3.5 Mediciones con el sistema de insonorización (PVC + corcho)

Los niveles de ruido ante el uso del PVC + corcho varían entre 77,0 a 79,6 dB(A), como se muestra en la Tabla 15. Estos valores son inferiores a los 85 dB(A), por lo que se produce una disminución efectiva del ruido. Comparándolos con los otros materiales son similares al de melamina, en su valor máximo; no obstante, sigue siendo superior al de PVC + espuma.

**Tabla 15**

*Medición de ruido en la planta (PVC + Corcho)*

#	dB(A)	#	dB(A)	#	dB(A)	#	dB(A)
1	77,6	6	77,7	11	77,0	16	77,8
2	77,6	7	77,8	12	77,7	17	77,6
3	78,5	8	78,5	13	78,4	18	78,3
4	78,8	9	78,9	14	79,0	19	79,1
5	79,6	10	79,4	15	79,2	20	79,4

Todos los trabajadores del GEH de la planta, reciben un nivel de exposición al ruido ponderado  $L_{p,A,eqT_e}$  de 78,46 dB bajo una incertidumbre expandida  $U$  igual a  $\pm 2,1$  dB. El desarrollo de cálculo se describe según los siguientes parámetros:

- Al utilizar la Ecuación 2, se obtiene  $L_{p,A,eqT_e}$ .

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \log \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 * L_{p,A,eqT,n}} \right)$$

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \log \left( \frac{1}{20} (10^{0,1(77,6)} + 10^{0,1(77,6)} + \dots + 10^{0,1(79,4)}) \right)$$

$$L_{p,A,eqT_e} = 78,46 \text{ dBA}$$

- $N = 20$  muestras.
- Presenta un valor  $\bar{L}_{p,A,eqT}$  igual a 78,42 dB(A) (promedio de mediciones de la Tabla 15).

- Al aplicar la Ecuación 5, se obtiene un  $u_1 = 1,72 \text{ dB}$ .

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[ \sum_{n=1}^N (L_{p,A,eqT,n} - \bar{L}_{p,A,eqT})^2 \right]}$$

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{20-1} [(77,6 - 78,42)^2 + (77,6 - 78,42)^2 + \dots + (79,4 - 78,42)^2]} = 1,72 \text{ dB}$$

- El valor de  $u_1$  se sitúa entre 1,5 a 2 dB de la Tabla 5 y sus contribuciones  $c_1 u_1$  están entre 0,4 a 0,5 dB. Al aplicar, una interpolación lineal entre el par de puntos se tiene un  $c_1 u_1 = 0,4$ ; donde  $x_3 = 1,72 \text{ dB}$ ,  $x_1 = 1,5 \text{ dB}$ ,  $x_2 = 2,0 \text{ dB}$ ,  $y_1 = 0,4 \text{ dB}$  y  $y_2 = 0,5 \text{ dB}$ .

$$c_1 u_1 = y_3 = y_1 + \frac{(x_3 - x_1)(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1}$$

$$c_1 u_1 = 0,4 + \frac{(1,72 - 1,5)(0,5 - 0,4)}{2 - 1,5} = 0,4$$

- $c_2 = 1$ ,  $u_2 = 0,7 \text{ dB}$  y  $u_3 = 1 \text{ dB}$ .
- Al emplear la Ecuación 4, se obtiene una incertidumbre  $u(L_{EX,8h}) = 1,3 \text{ dB}$  y expandida  $U = 2,1 \text{ dB}$ .

$$u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

$$u(L_{EX,8h}) = \sqrt{0,4^2 + (0,7^2 + 1)} = 1,3$$

$$U = 1,65u$$

$$U = 1,65(1,3) = 2,1 \text{ dB}$$

#### 4.3.6 Comparativa previo/posterior al sistema de insonorización

De acuerdo con la expresión normativa de la Ecuación 3, cuando el  $T_e$  es igual al  $T_0 = 8$  horas, el término de corrección  $10 \log \left( \frac{T_e}{T_0} \right)$  se hace nulo. Bajo estas condiciones, el  $L_{EX,8h}$  resultó ser igual al  $L_{Aeq}$ , por lo que la comparación directa de los valores medidos

con los límites normativos de exposición cada ocupacional no requirió factores adicionales de corrección de tiempo.

$$T_e = T_0 = 8 \text{ horas}$$

$$L_{EX,8h} = L_{p,A,eqT_e} + 10 \log\left(\frac{T_e}{T_0}\right) \text{ [dB]}$$

$$L_{EX,8h} = L_{p,A,eqT_e} + 10 \log(1) \text{ [dB]}$$

$$L_{EX,8h} = L_{p,A,eqT_e} \text{ [dB]}$$

En la Tabla 16 se muestra la comparación de los valores del  $L_{p,A,eqT_e}$  (equivalente al  $L_{EX,8h}$ ) antes y después de implementar los sistemas de insonorización. Los puntos en los que no se cumplió la norma, se debió a que la cantidad de ruido superó los 85 dB, en este caso recayó sobre todas las filas de cuando no se empleó el sistema de insonorización.

Después de la implementación, los 4 sistemas disminuyeron el ruido con valores menores a los 85 dB(A). Entre los sistemas mencionados, el de PVC + espuma rinde mejor con valores entre 72,4 a 75,2 dB(A), seguidos de la melamina (76,4-79,3 dB(A)), gypsum (76,7-78,8 dB(A)) y PVC + Corcho (77,5 – 79,6 dB(A)). Esto implicó una reducción promedio del 16,1%, 11,7%, 11,4% y 10,6% para los materiales PVC + espuma, melamina, gypsum y PVC + corcho; respectivamente. Por lo tanto, PVC + espuma se identificó como el mejor sistema para reducir el ruido y mejorar las condiciones laborales en el área de producción.

$$\text{Reducción\%} = \frac{86,6 - 73,2}{86,6} \times 100\% = 15,47\%$$

$$\text{Reducción\%} \approx 15\% \rightarrow \text{PVC + espuma (\# 1)}$$

**Tabla 16***Medición  $L_{p,A,eqT_e}$  [dB(A)] en la planta*

#	Sistemas de insonorización								
	No posee dB(A)	PVC + espuma		Melamina		Gypsum		PVC + corcho	
		dB(A)	%	dB(A)	%	dB(A)	%	dB(A)	%
1	86,6 ✗	73,2 ✓	15	76,4 ✓	12	76,7 ✓	11	77,6 ✓	10
2	87,5 ✗	73,5 ✓	16	77,3 ✓	12	77,6 ✓	11	77,6 ✓	11
3	87,9 ✗	74,3 ✓	15	77,6 ✓	12	77,9 ✓	11	78,5 ✓	11
4	88,8 ✗	74,3 ✓	16	78,4 ✓	12	78,7 ✓	11	78,8 ✓	11
5	88,8 ✗	72,4 ✓	18	78,4 ✓	12	78,7 ✓	11	79,6 ✓	10
6	86,6 ✗	72,6 ✓	16	76,5 ✓	12	76,8 ✓	11	77,7 ✓	10
7	86,8 ✗	73,2 ✓	16	76,7 ✓	12	77,0 ✓	11	77,8 ✓	10
8	87,5 ✗	73,6 ✓	16	77,3 ✓	12	77,6 ✓	11	78,5 ✓	10
9	88 ✗	73,9 ✓	16	77,7 ✓	12	78,0 ✓	11	78,9 ✓	10
10	88,5 ✗	75,0 ✓	15	78,2 ✓	12	78,5 ✓	11	79,4 ✓	10
11	86,7 ✗	72,4 ✓	16	76,6 ✓	12	76,8 ✓	11	77,0 ✓	11
12	87,4 ✗	73,1 ✓	16	77,2 ✓	12	77,5 ✓	11	77,7 ✓	11
13	88,1 ✗	73,7 ✓	16	77,8 ✓	12	78,1 ✓	11	78,4 ✓	11
14	88,3 ✗	73,8 ✓	16	78,0 ✓	12	78,3 ✓	12	79,0 ✓	11
15	89,6 ✗	75,1 ✓	16	79,3 ✓	11	78,8 ✓	11	79,2 ✓	12
16	86,8 ✗	72,6 ✓	16	76,7 ✓	12	77,0 ✓	11	77,8 ✓	10
17	86,6 ✗	73,0 ✓	16	76,4 ✓	12	76,7 ✓	11	77,6 ✓	10
18	87,3 ✗	73,8 ✓	15	77,1 ✓	12	77,4 ✓	11	78,3 ✓	10
19	88,2 ✗	74,0 ✓	16	77,9 ✓	12	78,2 ✓	11	79,1 ✓	10
20	88,5 ✗	75,2 ✓	15	78,2 ✓	12	78,5 ✓	11	79,4 ✓	10

*Nota: el símbolo ✓ indica el cumplimiento de la NTP270, mientras ✗ implica un no cumplimiento normativo.*

#### **4.4 Prueba de hipótesis**

A fin de comprobar la hipótesis, se tomaron 20 mediciones previo al uso del sistema de insonorización. Y, lo mismo sucede cuando se aplica cada material (PVC + espuma, melamina, gypsum y PVC + corcho). Estas mediciones presentan datos estadísticos generales, pruebas de normalidad con el de Kolmogorov-Smirnov (KS) y Shapiro-Wilk y finalmente, pruebas paramétricas con el análisis de la varianza (ANOVA).

#### 4.4.1 Análisis de la variable estadística

En la Tabla 17 se muestran diversas variables estadísticas que son producto del resultado de los 20 datos analizados (ver Tabla 16) sin/con el sistema de insonorización. Estas muestras se encuentran uniformes por lo que no existe diferencia alguna para el tamaño del análisis. Al no existir perdidas de datos, se incrementa la confiabilidad del estudio. A continuación, se describe las variables estadísticas presentes:

**Tabla 17**

*Análisis estadístico*

Descripción		Sin insonorización	PVC + espuma	Melamina	Gypsum	PVC + corcho
N	Válidos	20	20	20	20	20
(mediciones)	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		87,7250	73,6350	77,4850	77,7400	78,3950
Mediana		87,7000	73,6500	77,4500	77,7500	78,4500
Moda		86,60	72,40 <sup>a</sup>	76,40 <sup>a</sup>	76,70 <sup>a</sup>	77,60
Desv. Desviación		0,88191	0,85488	0,80215	0,72938	0,75914
Varianza		0,778	0,731	0,643	0,532	0,576
Asimetría		0,283	0,339	0,366	-0,090	-0,033
Error estándar de asimetría		0,512	0,512	0,512	0,512	0,512
Curtosis		-0,749	-0,597	-0,398	-1,418	-1,202
Error estándar de curtosis		0,992	0,992	0,992	0,992	0,992
Rango		3,00	2,80	2,90	2,10	2,60
Mínimo		86,60	72,40	76,40	76,70	77,00
Máximo		89,60	75,20	79,30	78,80	79,60

*Nota.* La letra “<sup>a</sup>” significa múltiples modos; por tanto, se muestra el valor más pequeño.

Elaborado con el software IBM SPSS Statistics

- La media establece el promedio de las 20 mediciones, por lo que su valor medio más alto e igual a 87,725 dB(A) se presenta cuando no hay sistema de insonorización. Seguidos de cuando se aplica el sistema de insonorización con PVC + corcho (78,42 dB(A)), gypsum (77,74 dB(A)), melamina (77,485 dB(A)) y su valor promedio más bajo yace en el PVC + espuma (73,635 dB(A)). Este último material se destaca por ser mejor que el resto de los materiales aplicados, al poseer un valor medio más bajo.

- La mediana corresponde al valor central de un conjunto de datos ordenado. En este caso, son similares a sus promedios, salvo con una diferencia de centésimas de dB(A). Sin el sistema de insonorización presenta una mediana de 87,70 dB(A); mientras que, con la implementación del sistema, se obtuvieron medianas de 78,45 dB(A), 77,75 dB(A), 77,45 dB(A) y 73,65 dB(A) para los materiales de PVC + corcho, gypsum, melamina y PVC + espuma; respectivamente.
- La moda indica el valor que aparece con más frecuencia en los datos medidos. Cada uno de esos materiales distintos ofreció un estilo ilustrativo. Muchos de los grupos tenían múltiples modas, mostrando varias repeticiones de valores.
- La desviación estándar muestra que tan alejados están los datos con relación a la media. En todos los casos, fueron menores a la unidad; por tanto, indica que los datos están estrechamente distribuidos alrededor de la media.
- La varianza cuantifica la variabilidad de los datos. Por ejemplo, cuando no se aplica un sistema de insonorización, se tiene una mayor dispersión (0,778), es decir, sus datos son más variables. Lo que no ocurre con la implementación del sistema de insonorización, siendo el material Gypsum, que ofrece una menor dispersión en los datos (0,532).
- La asimetría muestra si la distribución está sesgada hacia valores más altos o bajos. Cuando la asimetría es positiva (cola de distribución se dirige hacia la derecha), como el caso de sin sistema de insonorización (0,283), y con sistema bajo el material de PVC + espuma (0,339) y melamina (0,366), los datos presentan una ligera tendencia hacia valores altos. En cambio, cuando los valores de asimetría son negativos como el caso del gypsum (-0,09) y PVC + corcho (-0,033), se pueden considerar como una distribución casi simétrica, debido a que son valores cercanos a 0.

- El error estándar de asimetría indica qué tan preciso es la estimación en su medida verdadera. En este caso, el error fue uniforme en todos los grupos, ya que poseen el mismo tamaño de la muestra, es decir, 20 mediciones.
- La curtosis especifica qué tan concentrados están los datos o si presentan valores extremos de dispersión. Todos los tratamientos fueron negativos en cuanto a la curtosis. Eso representa distribuciones relativamente bajas, teniendo la menor curtosis en el material de PVC + corcho.
- El error estándar de curtosis evalúa la precisión de la curtosis calculada. Todos los materiales utilizados tuvieron un error estándar de curtosis iguales (0,992). Por tanto, aportará consistencia en el análisis de los datos.
- Cada grupo de mediciones presenta un rango no mayor a 3 dB(A), siendo el valor más bajo, ocurre con el material de melamina, obteniendo un rango igual a 2,1 dB(A).
- Por último, se tienen valores mínimos y máximos en las mediciones, de los cuales sus mediciones de gran valor yacen cuando no se ha implementado el sistema de insonorización (86,6 – 89,6 dB(A)) y su más bajo valor ocurre al integrar el sistema con PVC + espuma (72,40 – 75,20 dB(A)).

#### 4.4.2 Prueba de Normalidad

**Tabla 18**

*Pruebas de normalidad*

Grupos	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Datos	Sig.	Estadístico	Datos	Sig.
Sin insonorización	0,153	20	0,200*	0,937	20	0,207
PVC + espuma	0,095	20	0,200*	0,949	20	0,346
Melamina	0,136	20	0,200*	0,949	20	0,359
Gypsum	0,145	20	0,200*	0,920	20	0,098
PVC + corcho	0,183	20	0,076	0,939	20	0,226

*Nota.* La letra “<sup>a</sup>” implica una corrección de significación de Lilliefors; mientras que “\*” muestra un límite inferior de la significación verdadera. Elaborado con el software IBM

SPSS Statistics.

Tomando como criterio la prueba de normalidad, se tienen las siguientes hipótesis:

- Hi: No proviene de una distribución normal (Sugiere realizar cálculos por pruebas no paramétricas).
- Ho: Si proviene de una distribución normal (Sugiere realizar cálculos por pruebas paramétricas).

Entonces, si el valor de Sig (bilateral) es mayor a 0,05, rechaza la Hi y acepta Ho.

Caso contrario, sucede al revés; es decir, aprobación de Hi y rechazo de Ho.

Se efectuaron pruebas con Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para comprobar la distribución de los datos de todas las muestras analizadas para grupo con/sin sistema de insonorización. Debido a que hubo 20 muestras en cada grupo (menor a 50), se utilizó la significancia de Shapiro-Wilk como criterio principal. A través de la Tabla 18, se observó que todos los valores de Sig. Bilateral presentaron valores mayores a 0,05 como es el caso de “sin insonorización” (0,207), PVC + espuma (0,346), melamina (0,359), gypsum (0,098) y PVC + corcho (0,226).

Como resultado, no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos siguen una distribución normal, por ende, se pueden aplicar pruebas paramétricas con el análisis de la varianza (ANOVA).

#### **4.4.3 Planteamiento de la hipótesis**

No es otra cosa que determinar la hipótesis nula y la hipótesis alterna.

Hipótesis nula (Ho):  $u_1 = u_2 = u_3 = u_4$

Hipótesis del investigador (Hi):  $u_1 \neq u_2 \neq u_3 \neq u_4$

**Tabla 19**

ANOVA

<b>Datos</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>Estadístico F</b>	<b>Sig. (bilateral)</b>
Entre grupos	2182,561	4	545,640	852,724	0,000
Dentro de grupos	60,788	95	0,640		
<b>Total</b>	<b>2243,350</b>	<b>99</b>			

*Nota.* Elaborado con el software IBM SPSS Statistics

Al poseer un nivel de significancia del 5% (0,05), se presentó comportamientos en las variables analizadas y vistos en la Tabla 19:

- El valor de Sig.(bilateral) es menor a 0,05 por lo que se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_1$ , es decir, que estadísticamente muestra una reducción de los niveles de ruido en la planta.
- Se establece que existe una diferencia significativa en el nivel de ruido al aplicar los distintos materiales en la compañía, siendo el mejor material de insonorización el PVC con espuma con un promedio de nivel de ruido de 73,6 dB (A). Este análisis representa a los 4 materiales aplicados en la compañía con miras a determinar el mejor material para su uso, siendo el PVC con espuma el que mejor dB (A), este permite opacar el nivel de ruido en la compañía.

#### **4.4.4 Comparación del nivel de ruido sin material y con el material de mejor resultado**

Para ello es necesario comprobar las dos mediciones del antes y después; siendo antes el nivel de ruido sin ninguna protección y el después del ruido controlado mediante el PVC con espuma, para determinar si existe diferencia significativa aplicaremos el estadístico T Student de 2 muestras relacionadas, esto se determinó mediante la prueba de ANOVA del punto anterior.

## Análisis de variables:

**Tabla 20**

*Análisis estadístico*

Descripción		Sin insonorización	PVC + espuma
N (mediciones)	Válidos	20	20
	Perdidos	80	80
Media		87,7250	73,6350
Mediana		87,7000	73,6500
Moda		86,60	72,40 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		,88191	,85488
Varianza		,778	,731
Asimetría		,283	,339
Error estándar de asimetría		,512	,512
Curtosis		-,749	-,597
Error estándar de curtosis		,992	,992
Rango		3,00	2,80
Mínimo		86,60	72,40
Máximo		89,60	75,20

*Nota.* La letra “a” significa múltiples modos; por tanto, se muestra el valor más pequeño.

Elaborado con el software IBM SPSS Statistics

- La media establece el promedio de las 20 mediciones, por lo que su valor medio sin el sistema de insonorización es igual a 87,725 dB(A) el cual se presenta cuando no hay sistema de insonorización. Cuando se aplica el sistema de insonorización con PVC + espuma se obtiene una media de 73,635 dB(A), el cual es un valor que es permitido por la norma ya que se encuentra por debajo de los 85 dB(A).
- La mediana corresponde al valor central de un conjunto de datos ordenado. En este caso, son similares a sus promedios, salvo con una diferencia de centésimas de dB(A). Sin el sistema de insonorización presenta una mediana de 87,70 dB(A); mientras que, con la implementación del sistema, se obtuvo 73,65 dB(A) para los materiales PVC + espuma.
- La moda indica el valor que aparece con más frecuencia en los datos medidos. El dato más repetido sin el sistema es de 86,60 dB(A), y para el PVC + espuma es de 72,40 dB(A).

- La desviación estándar muestra que tan alejados están los datos con relación a la media. En los dos casos, fueron menores a la unidad; por tanto, indica que los datos están estrechamente distribuidos alrededor de la media.
- La varianza cuantifica la variabilidad de los datos. Por ejemplo, cuando no se aplica un sistema de insonorización, se tiene una mayor dispersión (0,778), es decir, sus datos son más variables, al parecido ocurre con la aplicación del sistema, no presenta una varianza muy alejada del valor anterior (0,731).
- La asimetría muestra si la distribución está sesgada hacia valores más altos o bajos. Cuando la asimetría es positiva (cola de distribución se dirige hacia la derecha), como el caso de sin sistema de insonorización (0,283), y con sistema bajo el material de PVC + espuma (0,339) los datos presentan una ligera tendencia hacia valores altos.
- El error estándar de asimetría indica qué tan preciso es la estimación en su medida verdadera. En este caso, el error fue uniforme en los dos grupos, ya que poseen el mismo tamaño de la muestra, es decir, 20 mediciones.
- La curtosis especifica qué tan concentrados están los datos o si presentan valores extremos de dispersión. Todos los tratamientos fueron negativos en cuanto a la curtosis. Eso representa distribuciones relativamente bajas, teniendo la menor curtosis en el material de PVC + espuma.
- El error estándar de curtosis evalúa la precisión de la curtosis calculada. Los dos grupos tuvieron un error estándar de curtosis iguales (0,992). Por tanto, aportará consistencia en el análisis de los datos.
- Cada grupo de mediciones presenta un rango no mayor a 3 dB(A), siendo el valor más bajo con la aplicación del sistema con un rango igual a 2,8 dB(A).
- Por último, se tienen valores mínimos y máximos en las mediciones, de los cuales sus mediciones de gran valor yacen cuando no se ha implementado el sistema de

insonorización (86,6 – 89,6 dB(A)) y su más bajo valor ocurre al integrar el sistema con PVC + espuma (72,40 – 75,20 dB(A)).

### Prueba de Normalidad

**Tabla 21**

*Pruebas de normalidad*

Grupos	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Datos	Sig.	Estadístico	Datos	Sig.
Sin insonorización	0,153	20	0,200*	0,937	20	0,207
PVC + espuma	0,095	20	0,200*	0,949	20	0,346

*Nota.* La letra “a” implica una corrección de significación de Lilliefors; mientras que “\*” muestra un límite inferior de la significación verdadera. Elaborado con el software IBM SPSS Statistics.

Tomando como criterio la prueba de normalidad, se establecen las siguientes hipótesis:

- Hi: No proviene de una distribución normal (Sugiere realizar cálculos por pruebas no paramétricas).
- Ho: Si proviene de una distribución normal (Sugiere realizar cálculos por pruebas paramétricas).

Entonces, si el valor de Sig (bilateral) es mayor a 0,05, rechaza la Hi y acepta Ho.

Caso contrario, sucede al revés; es decir, aprobación de Hi y rechazo de Ho.

Se efectuaron pruebas con Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para comprobar la distribución de los datos de todas las muestras analizadas para grupo con/sin sistema de insonorización. Debido a que hubo 20 muestras en cada grupo (menor a 50), se utilizó la significancia de Shapiro-Wilk como criterio principal. A través de la Tabla 21, se observó que todos los valores de Sig. Bilateral presentaron valores mayores a 0,05 como es el caso de “sin insonorización” (0,207) y PVC + espuma (0,346).

Como resultado, no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos siguen una distribución normal, por ende, se pueden aplicar pruebas paramétricas con el análisis de la varianza (Prueba T Student de 2 muestras relacionadas).

### Planteamiento de la hipótesis

Hipótesis nula (Ho):  $u_1 = u_2$

Hipótesis del investigador (Hi):  $u_1 \neq u_2$

**Tabla 22**

*Prueba T Student para dos muestras relacionadas*

	Med ia	Desv. Desvi ación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilat eral)
				Inferior	Superior			
Sin insonorizac ión – PVC + Espuma	14,09	,67348	,15060	13,77480	14,40520	93,562	19	,000

*Nota.* Elaborado con el software IBM SPSS Statistics

- Al aplicar un intervalo de confianza del 95%, se obtuvieron valores entre 13,7748 y 14,4052 dB(A). Por ende, la media se situó en 14,09 dB(A) entre las 2 muestras evaluadas (1. Sin insonorización y 2. PVC + espuma).
- El valor de la desviación es menor a 1; por lo tanto, sus datos están estrechamente distribuidos alrededor de la media. También se refleja como el error es bajo (0,1506).
- El valor de Sig.(bilateral) es menor a 0,05 por lo que se rechaza la Ho y se acepta la Hi, es decir, que estadísticamente muestra una reducción de los niveles de ruido en la planta.

Se establece que existe una diferencia significativa en el nivel de ruido al aplicar un material insonorizador en la compañía, el PVC + espuma obtuvo un promedio de nivel de ruido de 73,6 dB(A), en comparación con lo obtenido sin el material de insonorización el cual obtuvo un promedio de 87,7 dB(A).

#### 4.5 Discusión

Según Remache et al. (2024) indicaron que las fuentes que generaron ruido mecánico e hidráulico son máquinas como las bombas centrífugas y motores eléctricos. Por ello, se confirmó de manera práctica, las mediciones del  $L_{Aeq}$  en el proceso de producción previo al sistema de insonorización. Estos datos arrojaron valores por encima de 85 dB(A); no obstante, al implementar el sistema de insonorización en base a 4 materiales distintos como gypsum, melamina, PVC + espuma y otro con corcho, se pudo constatar la reducción del ruido adquirido porcentualmente de un 10 % al 16 %, facilitando que los valores no sobrepasaran los 85 dB(A). Dicha medida estuvo acorde al estudio efectuado por Peñafiel Zúñiga (2020). Este autor menciona que la inclusión de mejoras estructurales y medidas acústicas conducen a reducciones moderadas en el ruido industrial. Por tanto, dichos estudios proporcionaron evidencia de la congruencia que significan los resultados adquiridos en la planta REFEGRA S.A.

Asimismo, Aldas Silva (2022) quien describió que la atenuación de la fuente industrial de un proceso puede ser llevada a cabo mediante materiales absorbentes y encapsulaciones, lo cual es constatado por la eficacia estudiada por los sistemas propuestos. Al aplicar la INEN-ISO 9612:2014 se verificó finalmente que los sistemas cumplen los requerimientos normativos, facilitando la adecuación técnica de la propuesta.

Con relación al ámbito estadístico, se tiene un criterio similar al de Rodríguez et al. (2023), donde la prueba de Shapiro-Wilk presentó un mejor desempeño ante muestras pequeñas y menores a 50 datos. Este criterio es coherente con el análisis estadístico realizado en la planta, mediante distintos materiales evaluados, cada uno con 20 muestras. Por lo tanto, se justifica el uso de la significancia de Shapiro-Wilk como un valor más relevante, utilizado principalmente para pruebas de normalidad, y luego, poder aplicar el ANOVA con datos paramétricos.

## CAPÍTULO V.

### 5. Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1 Conclusiones

Las fuentes de ruido en el proceso de producción de la Planta Purificadora de Agua REFEGRA S.A, se pudo constatar que son principalmente bombas centrífugas. Estas generan niveles sonoros altos, superiores a 85 dB(A) y se tuvo una incertidumbre en las mediciones de  $\pm 2,2$  dB. Esta primera caracterización fue clave para definir los puntos críticos a intervenir y, de esa forma, guiar las acciones de diseño e insonorización hacia los lugares de mayor impacto acústico.

Mediante el diseño del sistema de insonorización y la evaluación comparativa del PVC + espuma, melamina, gypsum y PVC + corcho, se lograron seleccionar las configuraciones constructivas con propiedades acústicas adecuadas para la atenuación del ruido industrial. Cada uno de estos materiales, como el PVC + espuma, melamina, gypsum y PVC + corcho provee un espesor de 2,1, 1,4, 1,3 y 0,7 cm; respectivamente. Ante el incremento del espesor en un material, se obtuvo mayor capacidad de absorción sonora.

El análisis evidenció que los 4 materiales antes mencionados tienen capacidades de absorción diferenciadas, alcanzando reducciones comprendidas entre el 10,6 % al 16,1 %, siendo el sistema PVC + espuma el más eficiente. También, se pudo comprobar que la incertidumbre ante el uso de cualquier material disminuyó uniformemente en la planta, cuyos valores oscilan entre  $\pm 2,1$  a  $\pm 2,2$  dB. Viendo desde el lado estadístico, se comprueba que los datos son paramétricos al aplicar la prueba de normalidad con Shapiro-Wilk y, por ende, se validó la hipótesis del investigador con ANOVA. De esta manera, se comprobó que la combinación de desempeño acústico, fácil implementación y adaptabilidad al entorno productivo es un criterio adecuado para la selección de materiales insonorizantes.

## **5.2 Recomendaciones**

Se sugiere realizar monitoreos regulares de ruido en las máquinas del área de producción de la planta. Los trabajos deben ser llevados a cabo con un sonómetro calibrado según el estándar INEN-ISO 9612. Esto ayudará a verificar la evolución en el diagnóstico acústico de la planta. También es aconsejable llevar un registro del proceso, para identificar tendencias, anticipar fallas mecánicas relacionadas con aumentos de ruido y trabajar en propuestas e intervenciones preventivas.

Para futuros trabajos, se recomienda profundizar en la selección de materiales insonorizantes a través de ensayos complementarios de absorción y transmisión sonora, particularmente considerando variaciones de espesura, densidad y configuraciones multicapa. Además, sería aconsejable evaluar alternativas adicionales como paneles perforados o barreras híbridas, que podrían optimizar la cantidad de reducción acústica sin comprometer la operatividad del área productiva.

Se recomienda elaborar un programa de mantenimiento preventivo de los módulos insonorizantes instalados para monitorear su estado, el cual permita asegurar el desempeño acústico a largo plazo. Implementar al mismo tiempo, medidas administrativas como la rotación del personal, los tiempos de exposición controlados, o el uso de protectores auditivos en el caso de ser necesario, el ruido de la fuente.

## BIBLIOGRAFÍA

- 3M. (2026). *Controlar / Programa de Protección Auditiva*. (MX).  
[https://www.3m.com.mx/3M/es\\_MX/epp-la/soluciones-de-seguridad/centro-proteccion-auditiva-3M/programa-de-proteccion-auditiva/control-de-ruido/](https://www.3m.com.mx/3M/es_MX/epp-la/soluciones-de-seguridad/centro-proteccion-auditiva-3M/programa-de-proteccion-auditiva/control-de-ruido/)
- Aldas Silva, J. L. (2022). *Evaluación del ruido ambiental y vibraciones de la empresa Master Metal* [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización].  
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/35092>
- Almeda Barrios, Y. (2022). *Contribución al control de ruido en hoteles. Aplicación en instalaciones de Varadero*. [Tesis de Grado, Universidad de Matanzas. Facultad de Ingeniería Industrial]. <http://rein.umcc.cu/handle/123456789/2313>
- Arefi, M. H., Ghaeini-Hessaroezeh, M., & Memarzadeh, R. (2021). Numerical modeling of water hammer in long water transmission pipeline. *Applied Water Science*, 11(8), 140. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01471-9>
- Bisio, P., Savino, F., Fargione, P., & Quarto, M. (2021). Evaluation of the effectiveness of the acoustic remediation carried out on an industrial machinery. *Giornale Italiano Di Medicina Del Lavoro Ed Ergonomia*, 43(1), 17–21.  
<https://doi.org/10.4081/gimle.395>
- Brauer, R. L. (2022). *Safety and Health for Engineers*. John Wiley & Sons.
- Bunker Audio. (2026). *Coeficientes de Absorción Acústica de Materiales*.  
<https://www.bunker-audio.com/bunker-audio-portal-sonido-documentos.php?id=3>
- Carvalhais, C., Ribeiro, L. A., & Pereira, C. C. (2025). Unveiling Stress Vulnerability and Occupational Noise Perception as Burnout Predictors: Results of an Exploratory

- Study in Industrial Environments. *Environments*, 12(6), 208.  
<https://doi.org/10.3390/environments12060208>
- Chen, X., Liu, M., Zuo, L., Wu, X., Chen, M., Li, X., An, T., Chen, L., Xu, W., Peng, S., Chen, H., Liang, X., & Hao, G. (2023). Environmental noise exposure and health outcomes: An umbrella review of systematic reviews and meta-analysis. *European Journal of Public Health*, 33(4), 725–731. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckad044>
- Decisión Andina 584. (2018). *Instrumento andino de seguridad y salud en el trabajo (sustitución de la Decisión 547)* [Documento].  
[https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-11/Documento\\_Decisi%C3%B3n-Acuerdo-Cartagena-584.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-11/Documento_Decisi%C3%B3n-Acuerdo-Cartagena-584.pdf)
- Decreto Ejecutivo 255. (2024). *Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores*.  
<https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2024/01/DECRETO-EJECUTIVO-255-REGLAMENTO-DE-SEGURIDAD-Y-SALUD-DE-LOS-TRABAJADORES.pdf>
- Díaz, J. M. C. (2025). *Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales* (12a Edición). Editorial Tebar.
- Dutchen, S. (2025). *Ruido y salud | Revista de Medicina de Harvard*.  
<https://magazine.hms.harvard.edu/articles/noise-and-health>
- Echeverri, C. (2024). *Evaluación y control del ruido*. Ediciones de la U.
- Esan, M. T. (2024). Review of gypsum reinforced composites as building materials. *Discover Civil Engineering*, 1(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s44290-024-00005-x>
- García, J., & Luna, P. (2012a). *NTP 0950: Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (I): Incertidumbre de la medición—Año 2012*.  
<https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de->

prevencion/27-serie-ntp-numeros-926-a-960-ano-2012/nota-tecnica-de-prevencion-ntp-950

García, J., & Luna, P. (2012b). *NTP 0951: Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (II): Tipos de estrategias—Año 2012*.  
<https://www.insst.es/documentacion/coleccion-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/27-serie-ntp-numeros-926-a-960-ano-2012/nota-tecnica-de-prevencion-ntp-951>

Gómez-García, A., Silva-Peñaherrera, M., Merino-Salazar, P., & Benavides. (2024). *Perfil de la Seguridad y Salud en el Trabajo. República del Ecuador*. Universidad Espíritu Santo - Ecuador.

Herisanu, N., & Marinca, V. (Eds.). (2022). *Acoustics and Vibration of Mechanical Structures – AVMS-2021: Proceedings of the 16th AVMS, Timișoara, Romania, May 28-29, 2021* (Vol. 274). Springer International Publishing.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-96787-1>

Hopp, V. (2022). *Fundamentos de tecnología química*. Reverte.

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INSST]. (1992). *NTP 270: Evaluación de la exposición al ruido. Determinación de niveles representativos*.  
<https://www.insst.es/documentacion/coleccion-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/8-serie-ntp-numeros-261-a-295-ano-1992/ntp-270-evaluacion-de-la-exposicion-al-ruido.-determinacion-de-niveles-representativos>

International Labour Organization [ILO]. (2024, enero 28). *Noise*.  
<https://www.ilo.org/topics-and-sectors/occupational-safety-and-health-guide-labour-inspectors-and-other/noise>

- International Organization for Standardization [ISO] 9612. (2025). *ISO 9612:2025(en), Acoustics—Determination of occupational noise exposure—Methodology*.  
<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:9612:ed-3:v1:en>
- ISO 1996-2. (2017). *Acústica—Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental Parte 2: Determinación de los niveles de presión sonora*. ISO.  
<https://www.iso.org/standard/59766.html>
- Kanu, L. K., Lwara, S. M. K., & Meng, X. (2025). Impacts of workplace noise exposure and mitigation strategies: A scoping review. *Discover Public Health*, 22(1), 214.  
<https://doi.org/10.1186/s12982-025-00611-9>
- La Sureda Cork. (2026). *Corcho caucho amortiguación acústica y de vibraciones*.  
[https://lasureda-cork.com/es/productos-y-fabricados-de-corcho/corcho-caucho-amortiguacion-acustica-y-de-vibraciones.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://lasureda-cork.com/es/productos-y-fabricados-de-corcho/corcho-caucho-amortiguacion-acustica-y-de-vibraciones.html?utm_source=chatgpt.com)
- Li, J. (2024, junio 4). Plástico PVC | Serie de materiales para el diseño de productos. *Primer molde*. <https://firstmold.com/es/guides/pvc-plastic/>
- Mehrotra, A., Shukla, S. P., Shukla, A. K., Manar, M. K., Singh, S. K., & Mehrotra, M. (2024). A Comprehensive Review of Auditory and Non-Auditory Effects of Noise on Human Health. *Noise and Health*, 26(121), 59.  
[https://doi.org/10.4103/nah.nah\\_124\\_23](https://doi.org/10.4103/nah.nah_124_23)
- Mercado Libre. (2025). *107rpm Motor Dc 37mm Con Caja Reductora 6v—US\$ 24*.  
<https://www.mercadolibre.com.ec/107rpm-motor-dc-37mm-con-caja-reductora-6v/up/MECU3366211032>
- Millán Esteller, J. (2022). *Instalaciones de megafonía y sonorización 2.<sup>a</sup> edición*. Ediciones Paraninfo, S.A.

- Moravec, M., Badida, M., Mikušová, N., Sobotová, L., Švajlenka, J., & Dzuro, T. (2021). Proposed Options for Noise Reduction from a Wastewater Treatment Plant: Case Study. *Sustainability*, 13(4), 2409. <https://doi.org/10.3390/su13042409>
- NTE INEN-ISO 9612. (2014). *Acústica. Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. Método de Ingeniería (ISO 9612:2009, IDT)*. <https://es.scribd.com/document/505032915/NORMA-INEN-ISO-9612>
- Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. (2022). *Occupational Noise Exposure—Overview*. <https://www.osha.gov/otm/section-3-health-hazards/chapter-5>
- Paco Acosta, D. R. (2020). *Reparación de eje de bomba warman 650 MCR mediante el proceso de termorociado de proyección de polvo por combustión* [Tesis de Grado, Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/10360>
- Pawelczyk, M., & Wrona, S. (2022). *Noise-Controlling Casings*. CRC Press.
- Peñañiel Zúñiga, D. (2020). *Evaluación de los niveles de presión sonora que afectan la calidad laboral en el Hospital León Becerra y propuestas de mitigación* [Tesis de Grado, Universidad Agraria del Ecuador]. [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/PE%C3%91AFIEL%20ZU%C3%91IGA%20DAVID%20FERNANDO\\_opt\\_compressed.pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/PE%C3%91AFIEL%20ZU%C3%91IGA%20DAVID%20FERNANDO_opt_compressed.pdf)
- Pintulac. (2025). *Bombas de Agua Centrifugas*. [https://www.pintulac.com.ec/catalog/category/view/s/bombas-centrifugas/id/283/?srsltid=AfmBOopsYtu\\_JmJPQqO0iyHvPTDxanL2AnxMBjaFZx4Yz9I\\_uuEQCjvx](https://www.pintulac.com.ec/catalog/category/view/s/bombas-centrifugas/id/283/?srsltid=AfmBOopsYtu_JmJPQqO0iyHvPTDxanL2AnxMBjaFZx4Yz9I_uuEQCjvx)
- Pleban, D. (2020). *Occupational Noise and Workplace Acoustics: Advances in Measurement and Assessment Techniques*. CRC Press.

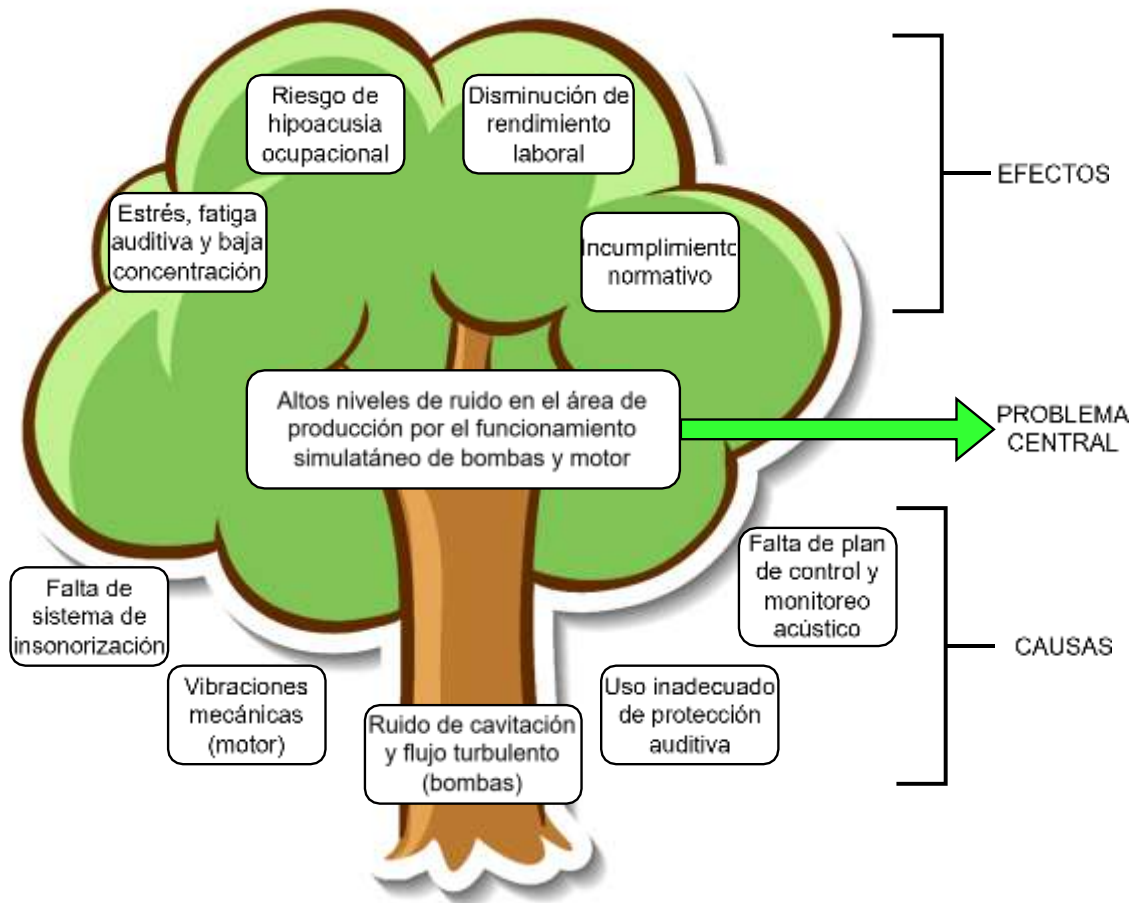
- Priya, J. S., & Hohman, M. H. (2025). Noise Exposure and Hearing Loss. En *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK594247/>
- Rahman, M. S. U., Biswas, N. N., Alam, S., Roy, D., Rahman, A. S. U., Rudra, R. K., Rahman, B. L., Arefin, M. M., Ahmad, M. S., & Murshed, S. M. M. (2022). Prevalence of Hearing Loss among Noise Exposed Industrial Workers. *Bangabandhu Sheikh Mujib Medical College Journal*, *1*(2), 90–95. (Bangladesh). <https://doi.org/10.3329/bsmmcj.v1i2.69347>
- Raja, V., Sivaraman, G., Kumar, T. R. S., Ramya, M., & R, M. (2025). Moisture interaction and wetting behavior of natural and synthetic fibrous insulation materials. *International Conference on Mathematical and Statistical Physics, Computational Science, Education, and Communication (ICMSCE 2025)*, *13941*, 255. <https://doi.org/10.1117/12.3082240>
- Remache, A., Pérez-Sánchez, M., Hidalgo, V. H., Ramos, H. M., & Sánchez-Romero, F.-J. (2024). Towards Sustainability in Hydraulic Machinery Manufacturing by 3D Printing. *Processes*, *12*(12), 2664. <https://doi.org/10.3390/pr12122664>
- Resolución 957. (2005). *Reglamento del instrumento andino de seguridad y salud en el trabajo* [Reglamento]. [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-11/Documento\\_Resoluci%C3%B3n-Secretar%C3%ADa-Andina-957.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-11/Documento_Resoluci%C3%B3n-Secretar%C3%ADa-Andina-957.pdf)
- Rodrigues, R., Toebe, M., Mello, A. C., & Bittencourt, K. C. (2023). Sample size and Shapiro-Wilk test: An analysis for soybean grain yield. *European Journal of Agronomy*, *142*, 126666. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126666>
- Sergi, C., Tirillò, J., Sarasini, F., Barbero Pozuelo, E., Sanchez Saez, S., & Burgstaller, C. (2019). The Potential of Agglomerated Cork for Sandwich Structures: A Systematic Investigation of Physical, Thermal, and Mechanical Properties. *Polymers*, *11*(12), 2118. <https://doi.org/10.3390/polym11122118>

- Si, Q., Ali, A., Liao, M., Yuan, J., Gu, Y., Yuan, S., & Bois, G. (2023). Assessment of cavitation noise in a centrifugal pump using acoustic finite element method and spherical cavity radiation theory. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, *17*(1), 2173302. <https://doi.org/10.1080/19942060.2023.2173302>
- SINOYQX. (2023, mayo 23). *Propiedades de la espuma de melamina SINOYQX / Espuma ligera, ignífuga y fonoabsorbente para aislamiento acústico y térmico*. <https://es.sinoyqx.com/products/melamine-foam/melamine-foam-properties/>
- Su, Z., Fan, S., Niu, Y., Wu, J., Wu, Q., Zhou, B., Hu, Y., Wang, S., Peng, J., Lu, C., Zhang, N., Xiao, S., Yan, Z., Yu, D., & Zhang, J. (2025). The association between occupational noise exposure and hearing loss among petrochemical enterprise workers in Hainan, South China. *Scientific Reports*, *15*(1), 9447. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-90023-1>
- Teixeira, L. R., Pega, F., de Abreu, W., de Almeida, M. S., de Andrade, C. A. F., Azevedo, T. M., Dzhambov, A. M., Hu, W., Macedo, M. R. V., Martínez-Silveira, M. S., Sun, X., Zhang, M., Zhang, S., & Correa da Silva, D. T. (2021). The prevalence of occupational exposure to noise: A systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. *Environment International*, *154*, 106380. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106380>
- Tiuc, A.-E., Borlea (Mureșan), S. I., Nemeș, O., Vermeșan, H., Vasile, O., Popa, F., & Pințoi, R. (2022). New Composite Materials Made from Rigid/Flexible Polyurethane Foams with Fir Sawdust: Acoustic and Thermal Behavior. *Polymers*, *14*(17), 3643. <https://doi.org/10.3390/polym14173643>

- Ulfa, A. L., & Sulistyorini, L. (2021). Literature Review: Factors Causing Hearing Loss Due to Noise in Industrial Workers. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 10(3), 433–441. <https://doi.org/10.20473/ijosh.v10i3.2021.433-441>
- Yang, L., Gutierrez, D. E., & Guthrie, O. W. (2024). Systemic health effects of noise exposure. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part B, Critical Reviews*, 27(1), 21–54. <https://doi.org/10.1080/10937404.2023.2280837>
- Yazdanirad, S., Khoshakhlagh, A. H., Al Sulaie, S., Drake, C. L., & Wickwire, E. M. (2023). The effects of occupational noise on sleep: A systematic review. *Sleep Medicine Reviews*, 72, 101846. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2023.101846>
- Zhang, C., Wang, J., Wang, H., & Zhang, H. (2024). Surveillance of noise exposure level in industrial enterprises-Jiangsu Province, China, 2022. *Frontiers in Public Health*, 12, 1230481. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1230481>
- Zhang, T., Zhang, J., Zheng, P., Hou, H., & Xu, Y. (2024). Study on Sound Absorption Properties of Polyvinyl Chloride (PVC) Film Multicavity Structure Materials. *Shock and Vibration*, 2024(1), 3820651. <https://doi.org/10.1155/2024/3820651>

## ANEXOS

### Anexo A. Árbol de problemas



## Anexo B. Cuestionario



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



QUESTIONARIO SOBRE CONFORT ACÚSTICO – REFEGRA S.A.  
Área de Producción

Preguntas:

1. ¿Cuántos años lleva trabajando en la empresa?  
.....
2. ¿Para el desarrollo de sus funciones diarias existen equipos ruidosos?
  - a. Si
  - b. No
3. ¿Su puesto de trabajo está cerca o próximo a un proceso ruidoso?
  - a. Si
  - b. No
4. ¿Considera que es molesto el ruido en su espacio de trabajo?
  - a. Mucho\*
  - b. Bastante\*
  - c. Regular\*
  - d. Poco\*
  - e. Nada

*En caso de presentar una respuesta afirmativa\*, responda las siguientes preguntas: 5 y 6.*
5. Señale en que momentos de su jornada laboral el ruido es más molesto:
  - a. Toda la jornada
  - b. Más de media jornada
  - c. Entre la mitad de la jornada y una cuarta parte de esta
  - d. Menos de una cuarta parte de la jornada
  - e. Nunca
6. Señale las fuentes de ruido que le resulten más molestas. Si no siente molestias relacionadas con estas fuentes no señale nada.
  - a. Ruido exterior
  - b. Ruido procedente de personas
  - c. Ruido de las instalaciones
  - d. Ruido de equipos de trabajo
7. ¿Al momento del desarrollo de sus actividades diarias considera que el ruido es un factor importante de distracción?
  - a. Siempre
  - b. Casi siempre
  - c. Algunas veces
  - d. Muy pocas veces
  - e. Nunca
8. ¿La presencia de ruido le dificulta la concentración para realizar sus actividades diarias?



- a. Siempre
  - b. Casi siempre
  - c. Algunas veces
  - d. Muy pocas veces
  - e. Nunca
9. ¿Considera que en el desarrollo de una conservación en su área de trabajo es necesario elevar el tono de su voz para hacerse escuchar?
- a. Siempre
  - b. Casi siempre
  - c. Algunas veces
  - d. Muy pocas veces
  - e. Nunca
10. ¿Es necesario forzar la atención por parte del receptor a la distancia habitual de trabajo para que resulte comprendida, entendida o captada una conversación mantenida con un tono de voz cómodo para el emisor?
- a. Siempre
  - b. Casi siempre
  - c. Algunas veces
  - d. Muy pocas veces
  - e. Nunca
11. ¿Los niveles de ruido le impiden escuchar señales acústicas relevante o entender mensajes por megafonía?
- a. Siempre
  - b. Casi siempre
  - c. Algunas veces
  - d. Muy pocas veces
  - e. Nunca
12. ¿Tiene algún antecedente de afecciones relacionados con el ruido?
- a. Si
  - b. No
- Si su respuesta fue afirmativa responda la siguiente pregunta.
13. Al finalizar o durante su jornada laboral, ¿experimenta alguno de estos síntomas? Puede señalar más de una.
- a. Zumbido o pitido en los oídos
  - b. Dolor de cabeza
  - c. Irritabilidad o fatiga
  - d. Pérdida de la concentración
  - e. Estrés
  - f. Dificultad para dormir
  - g. Dificultad para escuchar o entender conversaciones
  - h. Otra:.....

**Nota:** El cuestionario que se tomó como referencia para el estudio y fue modificado es el de INSST (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo) con el tema Ruido: Evaluación y Acondicionamiento Ergonómico.

Anexo C. Calibración del sonómetro

• Laboratorio

	<b>INFORME DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, AÑO 2025</b>				
		<b>MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN</b>			
<b>NÚMERO DE REPORTE</b>	<b>INF-25-203</b>	<b>FECHA</b>			
		AAAA 2025	MM 08	DD 08	
<b>INFORMACIÓN DEL EQUIPO</b>					
<b>EQUIPO:</b>	SONOMETRO				
<b>MARCA:</b>	CIRRUS				
<b>SERIE:</b>	G400033				
<b>MODELO:</b>	CR: 171C				
<b>CÓDIGO INVENTARIO DEL LABORATORIO:</b>	35547230				
<b>Nr. DE ORDEN DE COMPRA</b>	NIC-0660001840001-2025-00079				
<b>ADMINISTRADOR DE LA OR. COMPRA</b>	ING. EDISON MIGUEL VERDEZOTO ESPINOZA				
Mantenimiento Preventivo	<b>X</b>	Mantenimiento Correctivo	-----		
<b>DIAGNÓSTICO</b>					
Mantenimiento de Rutina	<b>X</b>	Falla de software	----	Alimentación eléctrica	----
Daño eléctrico	---	Desconfigurado	---	Alimentación hidráulica	---
Daño electrónico	----	Desconexión	----	Alimentación de gases	----
Otros / ¿cuál?	N/A				
<b>METODOLOGÍA UTILIZADA EN LOS TRABAJOS REALIZADOS</b>					
Los trabajos se realizaron siguiendo el procedimiento interno de mantenimiento preventivo del laboratorio:					
<b>Inspección inicial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se verifico el estado físico: limpieza general, piezas flojas, desgaste, corrosión o grietas.</li> <li>• Se reviso conexiones eléctricas y mecánicas.</li> <li>• Se elimino ruidos o vibraciones anormales.</li> </ul>					
<b>Limpieza</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se retiro el polvo, grasa, humedad o residuos.</li> <li>• Se utilizo productos y métodos compatibles con el equipo (no abrasivos ni corrosivos).</li> </ul>					
<b>Lubricación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se lubrico las partes móviles según especificaciones.</li> <li>• Se utilizó lubricantes recomendados y en la cantidad adecuada.</li> <li>• Se retiro exceso de grasa para evitar acumulación de suciedad.</li> </ul>					
DIRECCIÓN: Quito, Manglar Alto S14-300 y Tomas Guerra Teléfono: 0969744482					

- **De campo**

**Puntos a tener en cuenta:**

- Asegurarse que el sonómetro y el calibrado estén en buenas condiciones y cuenten con un nivel de batería operable.
- Comprobar que el sonómetro y el calibrador estén calibrados por un laboratorio y estén dentro de su periodo de validez.
- Realizar la calibración evitando ruidos externos que pueden afectar el proceso.

**Paso 1: Preparación**

- Asegurarse que el calibrador ese apagado, antes de comenzar.
- Encender el sonómetro y acceder al menú principal.
- Seleccionar la opción “Ajustar Hora” y actualizar la fecha y hora del equipo.
- Una vez que haya ajustado la hora, regrese al menú principal o a la pantalla de inicio del sonómetro seleccionando la opción “Atrás”.



## Paso 2: Calibración

- En el menú principal o pantalla de inicio seleccione la opción “Calibrar”.
- Como siguiente paso se tiene que tomar el calibrador y conectarlo a micrófono del sonómetro.
- Encienda el calibrador, al encenderse también se podrá observar una luz verde la cual parpadeara mientras el sonómetro se calibra.
- Una vez que la luz del calibrador deje de parpadear y se mantenga estable, retire el calibrador.
- Retirar el Calibrador: Una vez que la luz verde del calibrador deje de parpadear y se mantenga fija, retire el calibrador del sonómetro.



## Paso 3: Finalización

- Después de retirar el calibrador, asegúrese de que el sonómetro haya completado la calibración correctamente. Esto puede implicar una pantalla de confirmación o un mensaje específico en la pantalla del sonómetro.



## Anexo D. Fichas técnicas de los materiales

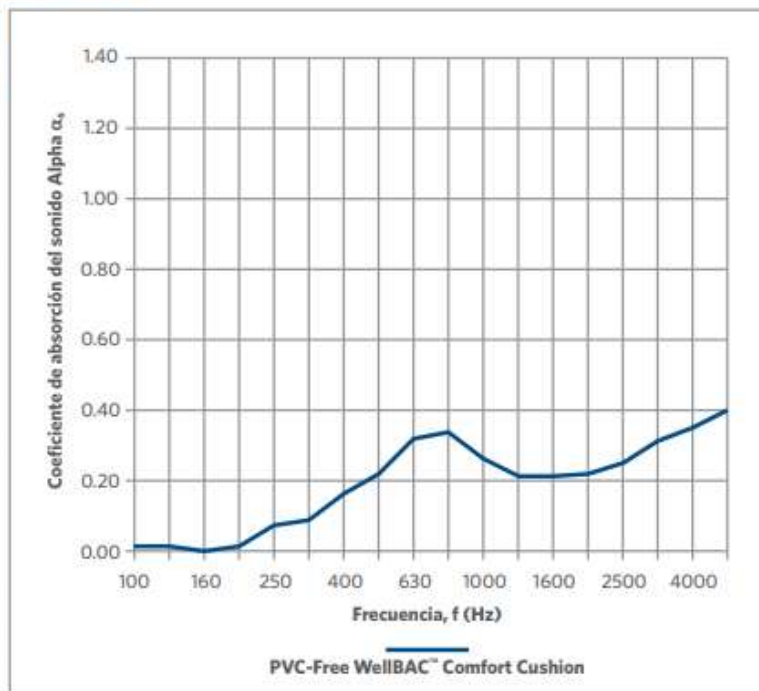
- PVC

Edge Lit PVC-Free WellBAC™  
Comfort Cushion  $\alpha_w$  0.25 Clase E

Edge Lit PVC-Free WellBAC™  
Comfort Cushion  $\Delta L_w$  30dB

### Coefficiente de absorción del sonido Alpha $\alpha_s$

Frecuencia (Hz)	PVC-Free WellBAC™ Comfort Cushion $\alpha_s$
100	0.02
125	0.02
160	0.00
200	0.02
250	0.07
315	0.09
400	0.16
500	0.22
630	0.32
800	0.34
1000	0.26
1250	0.21
1600	0.21
2000	0.22
2500	0.25
3150	0.31
4000	0.35
5000	0.40



$\alpha_p$ Valores (Edge Lit PVC-Free WellBAC™ Comfort Cushion)						$\alpha_w$	Clase
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	(valor global)	
0.00	0.05	0.25	0.25	0.25	0.35	0.25	E

## IMPROVING THERMAL PERFORMANCE IN STRUCTURAL FENESTRATION PRODUCTS

### ABSTRACT

The manufacturers of fenestration products (windows and doors) for use in a building facade have many materials to choose from to produce their products. This paper discusses the use of aluminum with a structural thermal barrier as the material of choice for fenestration worldwide. It will offer fundamental facts about thermal barriers for commercial and residential applications. The structural longevity and design flexibility of such products is discussed. The cost of producing thermal barrier fenestration and processing techniques is presented.

Data will be provided which illustrates the ability to meet energy codes required for the architectural building industry. Comparison studies are also given on various types of systems that can be used for insulating aluminum windows and doors.

### INTRODUCTION

Even today as we are securely into the twenty-first century the time proven attributes of aluminum make it the unparalleled choice for use in the world's structural windows. The properties of aluminum allow for the ease of manufacturing to be combined with reliability of structural performance. Aluminum windows have proven their worth in harshest of climates from the frigid cold of the Siberian peninsula to the extreme heat of the many deserts throughout the world to the some of the most stringent wind load requirements in the hurricane zones of the tropical climates. While the initial energy requirement for producing aluminum alloys is high, once the material is created the ability and number of times it can be recycled is unlimited.

#### Thermal barrier history, types and properties

With all of its intrinsic accolades, aluminum, when used for fenestration has a shortcoming. Thermal Conductivity is defined as "a measure of the rate at which heat flows through a material.... an insulating material is a poor conductor of energy and thus has a low thermal conductivity". PVC, wood and aluminum make up 95% of the worlds windows, the thermal conductivity of Vinyl/PVC is 0.17 W/m\*K (1), that of a hardwood and/or maple is 0.16 W/m\*K (1) and the thermal conductivity of aluminum alloys is 160 W/m\*K (1). With the impressive insulating properties of these other materials and ever increasing energy requirements how can aluminum compete and maintain its popularity?

The answer comes from a technology that has evolved from its conception over forty years ago. The Alaska State Courthouse in the United States was the first documented time that a

**Table 1: The thermal conductivity of materials used in commercial fenestration products, taken from NFRC 101.**

Aluminum	Stainless Steel	Polyamide	Polyurethane
160 W/m*K	14.3 W/m*K	0.30 W/m*K	0.12 W/m*K

Patrick Muessig, is global technical manager for Azon USA Inc., Kalamazoo, Michigan – USA

- Melamina

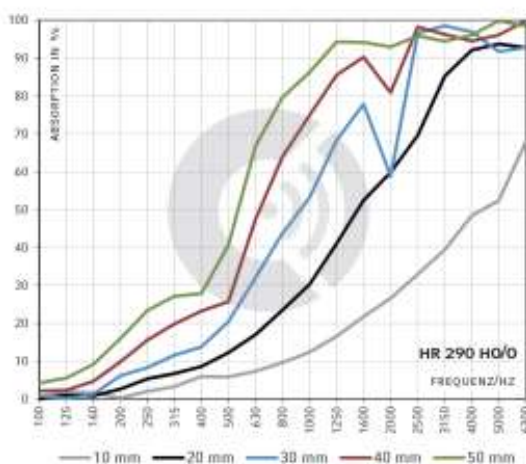


## FICHA DE PRODUCTO

DENOMINACION PRODUCTO: Espuma de melamina

Propiedades básicas	Unidades y valores	
Composición	Espuma de melamina / Aluminio	
Color	Gris / plateado	
Espesores	5, 10, 20, 30, 40, 50	mm
Comportamiento al fuego	EN 45545-2 2020: R1 + R7 + R17, HL3	
Temperatura de servicio	-50 / 180	°C
Conductividad térmica (espuma melamina) EN 12667, 10 °C	≤ 0,025	W / (m · K)
Densidad DIN EN ISO 845	9 ± 1,5	kg/m <sup>3</sup>
Resistencia química DIN 53428	Resistente a la gasolina ligera, glicerina, parafina, etc.	

IMPEDANCIA DE ABSORCIÓN DE RUIDO (DIN 10 534-2):



Espuma flexible gris a base de resina melamínica para absorción acústica y aislamiento térmico, con propiedades repelentes al agua y al aceite. Laminado adicionalmente con una lámina de aluminio.

### Características:

- Repelente al agua y al aceite impregnado
- Buena resistencia al fuego
- Resistencia a altas temperaturas
- Baja conductividad térmica
- La lámina de aluminio brinda protección contra la entrada y acumulación de polvo y líquidos
- Reflexión de la radiación térmica

### Aplicaciones:

- Calefacción / ventilación / aire acondicionado
- Ingeniería mecánica
- Vehículos ferroviarios (material aislante)

- Gypsum



Placa ExSound  
Modelo C12N8

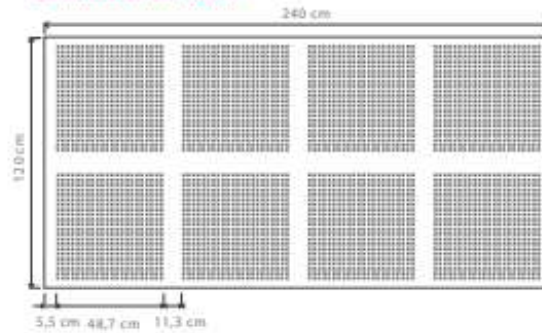
## Placa ExSound Modelo C12N8

La placa de Yeso cartón Exsound Modelo C12N8 entrega un excelente desempeño en absorción acústica gracias a sus perforaciones y viledón acústico en su cara posterior, disminuyendo la reverberación acústica al interior del recinto.

La placa Exsound es ideal para usos al interior, tanto con fines acústicos como estéticos, pudiendo instalarse tanto en cielos como en tabiques.

Las placas Gyplac Exsound están fabricadas con Tecnología AIR que ayuda a mejorar la calidad del aire interior, purificándolo y protegiendo la salud de las personas. Estas absorben hasta un 60% de los formaldehidos (compuestos orgánicos volátiles), neutralizándolos y transformándolos en compuestos inertes.

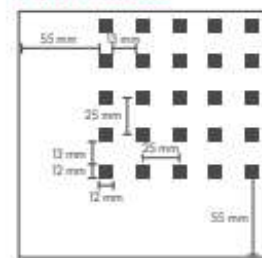
### Diseño de la Placa



### Detalles técnicos

Placa Acústica ExSound Modelo C12N8	
Longitud	240 cm
Ancho	120 cm
Espesor	12,5 mm
Tipo de Borde	Rebajado (BR)
Peso aproximada	10 Kg/m <sup>2</sup>
Porcentaje de perforación	10,7%
Absorción acústica	NRC 0,70

### Perforaciones



### Usos

- 1 Salas de música
- 2 Salas de clases y reuniones
- 3 Teatros y Cines

### Principales ventajas



Excelente absorción acústica



Fácil de instalar



Acepta pintura

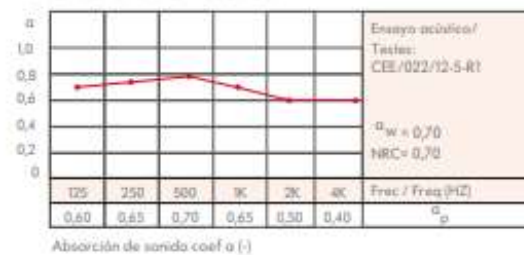


Diseños atractivos



Tecnología Air

### Coefficiente de Absorción



### Recomendaciones de Almacenamiento

Debe ser guardada en un lugar nivelado, seco y protegido de la intemperie. No debe ser golpeada ni posar sobre sus esquinas.

- Corcho aglomerado con goma o corcho caucho

## ROLLOS DE CORCHO AGLOMERADO



### ROLLOS DE CORCHO AGLOMERADO "170"

Los rollos modelo "170" son rollos de corcho natural aglomerado de baja densidad. Se utilizan principalmente como aislantes acústicos bajo el pavimento. Un suelo, ya sea parquet o cerámica bajo el que se le ha colocado el modelo "170" garantiza unos niveles de aislamiento acústico al impacto excelentes.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS:		RESULTADOS:	
Materiales:	Aglomerado de corcho natural	$\Delta L_{ac}$ :	24 dB
Densidad:	170 - 190 kg/m <sup>3</sup>		
Granulado:	1 - 4 mm	Frecuencia (Hz)	$\Delta L_{i(f)}$
Acabado:	sin pulir	100	-1,8
		125	2,1
		160	6,4
		200	10,1
		250	14,2
		315	18,2
		400	22,1
		500	26,2
		630	30,2
		800	34,4
		1000	38,2
		1250	42,1
		1600	46,4
		2000	50,1
		2500	54,2
		3150	58,2
		4000	62,1
		5000	66,2

**DATOS DE ENSAYO:**

Materiales:	Rollo "170" 4 mm
Norma aplicada:	UNE EN 29052 - 1
Organismo acreditado:	APPLUS

\*Ensayo para la determinación de la reducción del nivel de presión acústica de impactos,  $\Delta L_i$ , en decibelios, el cálculo de la reducción ponderada del nivel de presión sonora de ruidos de impacto,  $\Delta L_{i(f)}$ , está calculado según la norma UNE EN ISO 717-2. Para realizar este cálculo, los valores negativos de la curva  $\Delta L_{i(f)}$  se han supuesto igual a 0.

NORMAS : ISO 7322

	Unidades	valores
Granulometría Corcho - Cork	m/m	0,5 - a 1,
Caucho Poliuretano.		
Densidad Producto	Kgr / M.3	560 a 650
Dureza Superficial Shore Type A		50 - 70
Fuerza Tensil. Resistencia a la tracción longitudinal	Mpa	> 0.8
Fuerza Tensil. Resistencia a la tracción transversal	Mpa	> 0.6
Compresibilidad	0.7 Mpa	15-30
Recuperación, mínimo	%	75
Resistente a las humedades y al agua		

- Certificados para el uso de espesores de los materiales para el sistema de insonorización.
  - Espuma flexible de 1,8 cm

### CERTIFICADO

Riobamba, 18 de mayo del 2026


Por medio del presente, el establecimiento "Comercial Huacho" certifica que la espuma flexible de 1.8 cm de espesor es un producto comercializado dentro de nuestro catálogo de materiales.

Dicha espuma es utilizada principalmente para sistemas de insonorización y acondicionamiento acústico, siendo ampliamente solicitada por clientes debido a sus propiedades de absorción de sonido y facilidad de instalación.

Asimismo, se certifica que nuestro establecimiento también se dedica a la comercialización de todo tipo de telas y materiales relacionados.

El presente certificado se emite a solicitud de la parte interesada para los fines que considere convenientes.

Atentamente,

  
Nombre del responsable: Yohanna Huacho  
Comercial Huacho  
C.I: 0601403479  
Cel: 0998234133

- Melamina de 1,4 cm

### **CERTIFICADO**

Ríobamba, 15 de mayo del 2026

Por medio del presente, la empresa "INNOVA PLADUR" certifica que la melamina de 1.4 cm es uno de los materiales de mayor comercialización dentro de nuestro catálogo de productos para carpintería y acabados.

La melamina es ampliamente demandada por nuestros clientes debido a su durabilidad, variedad de diseños y facilidad de aplicación en la fabricación de muebles, divisiones y revestimientos, convirtiéndose en uno de los productos con mayor rotación en nuestras ventas.

El presente certificado se emite a solicitud de la parte interesada para los fines que estime convenientes.

Atentamente,



Washington Sanaguano  
Propietario de INNOVA PLADUR  
C.I: 0601173461

- Gypsum de 1,3 cm.

### **CERTIFICADO**

Riobamba, 16 de mayo del 2026

Yo, Miguel Pilco, técnico especializado en instalación de gypsum, certifico que el gypsum de 1.3 cm de espesor es el material que más utilizo y comercializo en los diferentes trabajos y proyectos de construcción, remodelación y acabados que realizo.

Este tipo de gypsum es ampliamente solicitado por los clientes debido a su resistencia, calidad y versatilidad para la elaboración de divisiones interiores, cielos rasos y revestimientos, siendo el de mayor demanda dentro de mis actividades laborales.

El presente certificado se emite a petición de la parte interesada para los fines que considere pertinentes.

Atentamente,

  
Miguel Pilco  
Instalador de Gypsum  
C.I: 0202368189  
Cel: 0981083924

- Corcho de 0,4 cm

### CERTIFICADO

Riobamba, 18 de mayo del 2026

Por medio del presente, el establecimiento comercial "Almacén DARA" certifica que el material de corcho de 0.4 cm de espesor es un producto comercializado dentro de nuestro catálogo de materiales y suministros.

Este material es utilizado frecuentemente en trabajos de aislamiento, revestimiento y aplicaciones decorativas, siendo solicitado por clientes debido a su funcionalidad, resistencia y facilidad de instalación.

El presente certificado se emite a solicitud de la parte interesada para los fines que estime convenientes.

Atentamente,



Luis A. Rivas C.  
Comercial DARA  
C.I: 0602212712  
Cel: 0998371796

 Almacén  
**d.a.r.a.**  
DISTRIBUIDORA AUTOMOTRIZ  
REPUESTOS Y ACCESORIOS

## Anexo E. Fotografías del sistema de insonorización

- Proceso de producción de la planta







- Sistemas de insonorización



## Anexo F. Descarga de datos del sonómetro clase 1

- Sin material de insonorización



- Con el material que obtuvo mejores resultados (PVC + espuma)

